

N O T I C E

THIS DOCUMENT HAS BEEN REPRODUCED FROM
MICROFICHE. ALTHOUGH IT IS RECOGNIZED THAT
CERTAIN PORTIONS ARE ILLEGIBLE, IT IS BEING RELEASED
IN THE INTEREST OF MAKING AVAILABLE AS MUCH
INFORMATION AS POSSIBLE

E80-10260
CR-163367

"Made available under NASA sponsorship
in the interest of early and wide dis-
semination of Earth Resources Survey
Program information and without liability
for any use made thereof."

(E80-10260) USE OF LANDSAT DATA FOR
ESTIMATING THE AREA OF SUGAR CANE IN THE
STATE OF SAO PAULO M.S. Thesis (Instituto
de Pesquisas Espaciais, Sao Jose) 83 p
HC A05/MF A01

N80-30843

Unclas
00260

CSCL 02C G3/43

RECEIVED BY
NASA STI FACILITY
DATE: 6-25-80
DCAF NO. 002949

PROCESSED BY
☒ NASA STI FACILITY
☐ ESA - SDS ☐ AIAA



CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTIFICO E TECNOLÓGICO

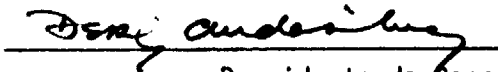
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

EN-10060

| | | | |
|--|------------------------|---|--|
| 1. Classificação INPE-COM.1/TDL C.D.U.: 621.38SR:633.61 | | 2. Período | 4. Distribuição interna <input type="checkbox"/> externa <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) SENSORIAMENTO REMOTO INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA LANDSAT CANA-DE-AÇÚCAR | | | |
| 5. Relatório nº INPE-1713-TDL/023 | 6. Data Abril, 1980 | 7. Revisado por <i>Antonio Tebaldi Tardin</i> Antonio Tebaldi Tardin | |
| 8. Título e Sub-Título USO DE DADOS DO LANDSAT PARA AVALIAÇÃO DE ÁREAS OCUPADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO | | 9. Autorizado por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Nelson de Jesus Parada Diretor | |
| 10. Setor DSR | Código | 11. Nº de cópias 26 | |
| 12. Autoria Francisco José Mendonça | | 14. Nº de páginas 82 | |
| 13. Assinatura Responsável <i>Francisco José Mendonça</i> | | 15. Preço | |
| 16. Sumário/Notas Utilizando-se dados digitalizados do LANDSAT, com suporte em fotografias aéreas no infravermelho coloridas, na escala aproximada de 1:20.000, foi feito um estudo no intuito de se testar uma metodologia para avaliação de área da cultura da cana-de-açúcar (<i>Saccharum Spp.</i>). Para realização dessa pesquisa, determinou-se, inicialmente, dentro do Estado de São Paulo, a área de maior concentração de cana, a qual foi considerada como área de estudo. Dentro da área de estudo foram selecionados dez segmentos com área aproximada de 10 x 20 km ² , para serem aerofotografados com câmera RC-10 e filme "aerochrome IR 2443" da KODAK. Esses segmentos serviram para obtenção de áreas de treinamento, visando a classificação automática de dados do LANDSAT através do sistema IMAGE-100. Para se proceder à classificação automática, fez-se, primeiramente, a divisão da área de estudo em quatro estratos coincidentes com as quatro órbitas de passagem do LANDSAT. Os resultados da classificação obtidos apresentaram uma percentagem total de classificação correta (PCT) para cada estrato, assim distribuídos: estrato 206 (79,56%); estrato 132 (95,59%); estrato 178 (84,42%) e estrato 164 (84,11%). | | | |
| 17. Observações Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovada em 12 de outubro de 1979. | | | |

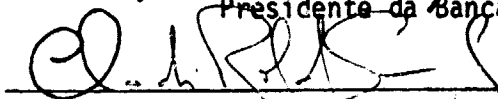
Aprovado pela Banca Examinadora
em cumprimento dos requisitos exigidos
para a obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto

Dr. Derli Chaves Machado da Silva



Presidente da Banca

Dr. Claudio Roland Sonnenburg



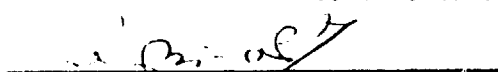
Co-Orientador

Eng. Agro. Antonio Tebaldi Tardin, MSc.



Co-Orientador

Dr. Sérgio Bicudo Paranhos



Membro da Banca
-convidado-

Eco. Renê Antonio Novaes, MSc.



Membro da Banca

Francisco José Mendonça



Candidato

São José dos Campos, 12 de outubro de 1979

INDICE

| | |
|---|------|
| ABSTRACT | v |
| LISTA DE FIGURAS | vi |
| LISTA DE TABELAS | viii |
| <u>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO</u> | 1 |
| <u>CAPÍTULO II - REVISÃO DE LITERATURA</u> | 3 |
| 2.1 - Sensoriamento Remoto aplicado à agricultura | 3 |
| 2.2 - Uso de dados do LANDSAT aplicados à agricultura | 4 |
| 2.3 - Métodos utilizados no tratamento dos dados do LANDSAT | 7 |
| 2.4 - Uso de sensoriamento remoto para identificação e avaliação de áreas ocupadas com a cultura da cana-de-açúcar | 11 |
| 2.5 - A cultura da cana-de-açúcar (Saccharum Spp) | 13 |
| <u>CAPÍTULO III - MATERIAL E MÉTODOS</u> | 17 |
| 3.1 - Definição da área de estudo | 17 |
| 3.2 - Localização, extensão e descrição da área de estudo | 26 |
| 3.2.1 - Localização da área de estudo | 26 |
| 3.2.2 - Extensão da área de estudo | 26 |
| 3.2.3 - Descrição física da área de estudo | 26 |
| 3.2.4 - Estratificação da área de estudo | 31 |
| 3.3 - Definição e descrição das áreas de treinamento | 34 |
| 3.3.1 - Descrição das áreas de treinamento | 34 |
| 3.3.1.1 - Áreas de treinamento do estrato 206 | 37 |
| 3.3.1.2 - Áreas de treinamento do estrato 192 | 37 |
| 3.3.1.3 - Áreas de treinamento do estrato 178 | 38 |
| 3.3.1.4 - Áreas de treinamento do estrato 164 | 39 |
| 3.4 - Aquisição de dados de aeronave | 39 |
| 3.4.1 - Fotointerpretação | 39 |
| 3.4.2 - Metodologia usada no trabalho de campo | 40 |
| 3.4.3 - Elaboração dos mapas temáticos das áreas de treinamento | 40 |
| 3.4.4 - Cálculo da área ocupada com cana | 40 |
| 3.5 - Aquisição de dados do LANDSAT | 42 |
| 3.6 - Tratamento dos dados de plataforma orbital | 43 |

| | |
|---|----|
| 3.6.1 - Imagens fotográficas do LANDSAT (IFL) | 43 |
| 3.6.2 - Dados digitalizados do LANDSAT (CCT) | 43 |
| 3.7 - Comparação qualitativa e quantitativa dos dados, obtidos a partir da interpretação de fotografias aéreas e imagens do LANDSAT | 44 |
| 3.7.1 - Comparação qualitativa dos dados | 44 |
| 3.7.1.1 - Dados de abril | 44 |
| 3.7.1.2 - Dados de julho/agosto | 45 |
| 3.7.2 - Comparação quantitativa dos resultados | 45 |
| <u>CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> | 49 |
| 4.1 - Resultados alcançados com dados de aeronave | 49 |
| 4.2 - Resultados alcançados com dados do LANDSAT | 51 |
| 4.2.1 - Dados de abril | 51 |
| 4.2.2 - Análise estatística dos dados de abril | 53 |
| 4.2.3 - Dados de julho/agosto | 55 |
| 4.2.4 - Análise estatística dos dados de julho/agosto | 56 |
| 4.3 - Discussão dos resultados obtidos em abril e julho/agosto | 58 |
| 4.3.1 - Áreas de treinamento | 58 |
| 4.3.2 - Percentagem total de classificação correta de cada estrato (PCT) | 65 |
| <u>CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u> | 67 |
| 5.1 - Conclusões | 67 |
| 5.2 - Recomendações | 68 |
| AGRADECIMENTOS | 71 |
| BIBLIOGRAFIA | 73 |

ABSTRACT

LANDSAT digital data and color IR photographs (approx. scale 1:20,000) were used in a study whose purpose was to evaluate a methodology for making hectarage estimations of sugar cane (Saccharum Spp.). Initially, areas of greatest concentrations of sugar cane within São Paulo State were verified and used to delimit the study area. Ten segments with areas of approximately 10 x 20 km² were selected within the study area for aerial reconnaissance using a RC-10 camera and Kodak "aerochrome IR 2443" film. These segments were used as "training areas" for automatic classifications of LANDSAT data on the IMAGE-100 system. For classification of the segments the study area was divided into four strata coinciding with four LANDSAT orbital passes. The results obtained are presented as a percentage of overall correct classification for each orbital stratum: orbit 206 (79.56%), orbit 192 (95.59%), orbit 178 (84.42%) and orbit 164 (84.11%).

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| II.1 - Zoneamento ecológico para a cultura canavieira | 15 |
| III.1 - Área cultivada com cana-de-açúcar - 1968-72, em 100 hectares | 21 |
| III.2 - Mapa com as classes de concentração de cana-de-açúcar e a localização das principais usinas | 25 |
| III.3 - Localização da área de estudo em relação ao Estado de São Paulo | 27 |
| III.4 - Mapa geológico esquemático do Estado de São Paulo | 28 |
| III.5 - Mapa esquemático, mostrando os principais solos do Estado de São Paulo | 30 |
| III.6 - Mapa esquemático da divisão climática do Estado de São Paulo | 32 |
| III.7 - Divisão da área de estudo em estratos | 33 |
| III.8 - Mapa do Estado de São Paulo, mostrando a distribuição das áreas de treinamento dentro de cada estrato | 35 |
| III.9 - Esquema demonstrativo dos elementos para avaliação e compa ração dos dados, obtidos com a classificação automática de ca na | 47 |
| IV.1 - Regressão e correlação entre os valores de área de cana, ob tidos com dados do LANDSAT (AC) e dados de aeronave (AR), re ferente a abril | 54 |
| IV.2 - Regressão e correlação entre os valores de área de cana, ob tidos com dados do LANDSAT (AC) e dados da aeronave (AR), re ferente a julho/agosto | 57 |

- IV.3 - Índice de percentagem de acerto de classificação (Pa), referente à cana, usando dados de abril e julho/agosto 60
- IV.4 - Percentagem de erros de inclusão (EI), referente às classificações de cana, usando dados de abril e julho/agosto 61
- IV.5 - Percentagem de erros de omissão (EO), referente às classificações de cana, usando dados de abril e julho/agosto 62

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| III.1 - Divisões regionais agrícolas (DIRA) do Estado de São Paulo. | 17 |
| III.2 - Estimativa de junho de 1977 da área de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo, segundo sua utilização (cana para indústria e para forragem) em cada divisão regional agrícola, obtida pela Secretaria da Agricultura de São Paulo | 18 |
| III.3 - Índices das percentagens de ocorrência e concentração da cultura da cana-de-açúcar, em cada divisão regional agrícola do Estado de São Paulo | 20 |
| III.4 - Índices de ocorrência e concentração da cana-de-açúcar em cada grupo | 22 |
| III.5 - Índice de ocorrência de cana para indústria (CI) e para forragem (CF), em relação à cana total (CT) do Estado de São Paulo | 23 |
| III.6 - Relação dos principais solos da área de estudo e algumas de suas características | 29 |
| III.7 - Características dos três principais tipos de clima da área de estudo, segundo a classificação internacional de Köppen. | 31 |
| III.8 - Descrição dos segmentos | 36 |
| III.9 - Dados referentes à cobertura aerofotográfica dos segmentos. | 41 |
| III.10 - Dados do LANDSAT referentes às passagens de abril e de julho/agosto | 42 |
| IV.1 - Área total, área de cana e sua concentração em cada segmento | 51 |

| | |
|--|----|
| IV.2 - Resultados comparativos de áreas ocupadas com o tema cana, obtidos a partir de dados de aeronave e dados digitalizados do LANDSAT, referentes à época de abril | 52 |
| IV.3 - Análise de variância da equação de regressão dos dados de abril | 53 |
| IV.4 - Resultados comparativos de áreas ocupadas com o tema cana, obtidos a partir de dados de aeronave e dados digitalizados do LANDSAT, referentes à época de julho/agosto | 55 |
| IV.5 - Análise de variância da equação de regressão dos dados de julho/agosto | 56 |
| IV.6 - Resultados comparativos da classificação do tema cana, em termos do Índice da percentagem de acerto (Pa) de classificação correta, e percentagens dos erros de omissão (EO) e inclusão (EI) cometidos | 58 |
| IV.7 - Cálculo da percentagem total da classificação correta de cana em cada estrato, referente às épocas de abril e julho/agosto | 65 |

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Por suas características sinóticas e de repetitividade, os dados coletados pelo sistema LANDSAT se prenunciam como ferramenta de enorme potencialidade na área de agricultura, especificamente, na identificação e avaliação de áreas ocupadas com culturas.

O Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), através do seu Departamento de Sensoriamento Remoto (DSR), vem desenvolvendo o programa RECAF (Recursos Agronômicos e Florestais), cujo objetivo geral é desenvolver pesquisas e transferir metodologias de utilização das técnicas de sensoriamento remoto aplicadas a problemas relacionados com agricultura e floresta.

Dentro do programa RECAF foi estabelecido, entre outros, o sub-programa EAGRI (Estatísticas Agrícolas), que visa o estabelecimento de uma metodologia, utilizando a técnica de sensoriamento remoto, com ênfase no uso de imagens LANDSAT e técnicas de processamento e análise automáticas, para fins de previsão de safras agrícolas.

Desde 1975 pesquisas nesse sentido vêm sendo conduzidas pela equipe do EAGRI, utilizando dados orbitais, com suporte de fotografias áreas no infravermelho coloridas, no intuito de desenvolver uma metodologia que permita identificar e avaliar áreas ocupadas com culturas.

O presente trabalho tem por objetivo testar uma metodologia que utiliza técnicas de sensoriamento remoto, com processamento digital dos dados do LANDSAT, para identificar e avaliar áreas ocupadas com cana-de-açúcar (*Saccharum Spp.*) no Estado de São Paulo, empregando a experiência acumulada durante três anos de pesquisa.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À AGRICULTURA

Em 1968 o Programa de Pesquisa de Sensoriamento Remoto aplicado à Agricultura, elaborado pelo "Laboratory for Application of Remote Sensing (LARS)" (1968), considerava como prioritária a análise de dados estatísticos. Neste Programa, três objetivos foram estabelecidos: identificar, de acordo com os padrões de resposta espectral, as diversas categorias de culturas agrícolas; estabelecer para essas diversas categorias, a faixa de melhor discriminação do espectro eletromagnético; determinar, em função do estágio de desenvolvimento das culturas, de acordo com as variações temporais e as diferentes condições de solo, os padrões de resposta multiespectral para os diferentes grupos ou categorias de culturas.

Myers (1975) diz que o sensoriamento remoto oferece uma oportunidade de acompanhamento de áreas agrícolas, bem como avaliações rápidas e frequentes de recursos de solo e água. E acrescenta que, das as características complexas, inerentes à natureza biológica das culturas e dos solos, e como a Agricultura é dinâmica e sujeita a contínuas variações, torna-se extremamente difícil uma análise das culturas e dos solos. Um programa que utilize sensoriamento remoto para o estudo, seja de culturas ou caracterização de solos, requer um conhecimento das plantas e dos solos e suas interações com o espectro eletromagnético.

De acordo com MacDonald e Hall (1978), o projeto LACIE ("Large Area Crop Inventory Experiment"), atualmente em desenvolvimento nos Estados Unidos, constitui-se no principal passo em direção ao desenvolvimento de uma tecnologia de levantamento de safras, através de sensoriamento remoto, capaz de proporcionar informações sobre produção de

alimentos e fibras do Globo. A contribuição desse projeto será, segundo os autores, uma demonstração do conceito desta nova tecnologia para melhorar, significativamente, o nível de informação disponível no momento, sobre a principal cultura de nosso planeta - o trigo.

2.2 - USO DE DADOS DO LANDSAT APLICADOS À AGRICULTURA

Para determinar a potencialidade dos dados coletados pelo LANDSAT-1, nas áreas de Agricultura e Recursos Florestais, Erb (1973) chegou às seguintes conclusões:

- 1) os dados do LANDSAT-1 podem ser usados para detectar, identificar, localizar e medir uma grande quantidade de padrões de interesse para áreas de Agricultura e Floresta;
- 2) a utilidade da informação extraída de dados do LANDSAT-1 presta-se grandemente para realização de estudo em grandes áreas;
- 3) as técnicas de análise, utilizando computador, são tão boas quanto a interpretação em imagem convencional, e a utilização das duas técnicas seria muito útil no levantamento de recursos terrestres;
- 4) o desempenho da classificação com dados do LANDSAT-1 é compatível com o desempenho que se obtém utilizando-se dados de fotografias aéreas; e
- 5) a praticabilidade de classificação em grandes áreas de recursos agrícolas e florestais ficou comprovada, devido aos elementos de órgãos oficiais continuarem trabalhando com a NASA, para obtenção de aplicações específicas.

Horton e Heilman (1973) utilizaram dados digitalizados do LANDSAT, para a identificação das culturas de milho e soja e de áreas com solo descoberto (solo nu), em área selecionada do sudeste de Dakota do

Sul. Os resultados obtidos, utilizando as bandas 6 e 7, foram muito bons, permitindo uma classificação totalmente distinta das culturas de milho e soja.

Schurumpf (1973), utilizando dados orbitais do LANDSAT, afirma que eles possuem características bem definidas, permitindo realizar inventários de vegetação natural.

A partir de dados do LANDSAT-1, para análise de culturas agrícolas e florestas de Michigan, através de tratamento automático, Safir et al. (1973) concluíram que, de um modo geral, o reconhecimento de classes de vegetação é bom, desde que as copas ou folhagens das plantas apresentem um padrão uniforme, notadamente se essas plantas já atingiram a fase de maturação. Com efeito, a acurácia da classificação, segundo os autores, depende do estágio de desenvolvimento da planta e da época de coleta de dados.

Misra e Wheeler (1978), utilizando dados multiespectrais do MSS do LANDSAT, afirmam que a noção de assinatura espectral, tomada como base exclusiva para classificação de temas, não parece satisfatória. De acordo com esses autores, a resposta espectral de dados de agricultura é grandemente afetada, dependendo da época em que são tomados. Assim sendo, concluem eles, na classificação das culturas é necessário associar as variações espectral e temporal.

Wigton e Steen (1973) em trabalho de identificação e avaliação de áreas ocupadas com culturas, a partir de dados do LANDSAT, em áreas selecionadas do Missouri, Kansas, Idaho e Dakota do Sul, explicam o baixo desempenho da classificação obtida (58,8%) como uma consequência de grandes variações nas culturas plantadas em diferentes solos.

Westin e Lemme (1978) estudaram o efeito do solo e da vegetação sobre as respostas espectrais do LANDSAT. Associações de seis solos utilizados com milho, pequenos grãos e pastagens de gramíneas foram analisados, utilizando-se duas datas correspondentes à estação de

crescimento, com o objetivo de tentar separar categorias de uso agrícola e detectar a influência da associação de solo sobre as assinaturas espectrais da vegetação e do solo nu. Os dados de 19 de abril se prestaram bem para separar os campos de cultura dos campos de pasto e para localizar áreas alagadas. As diferenças de solo, no que se refere às propriedades espectrais, mostraram-se mais acentuadas em relação às áreas de pasto, do que as áreas ocupadas com culturas. Os dados de 30 de junho mostraram que as associações de solo não podiam, consistentemente, serem separadas dentro de dados provenientes de um único tipo de vegetação. Entretanto, os resultados mostraram que os solos de algum modo influenciaram a resposta espectral da vegetação. Dado que os solos interferiram na reflectância espectral dos vegetais, os autores tomaram, para cada uma das seis associações de solo, pontos para treinamento, a fim de separar quatro categorias de uso agrícola. Uma acurácia de 94% foi obtida.

Os mesmos autores, citando Hoffer, dizem que a variação nos solos pode causar diferenças nas assinaturas de cada cultura. A seguir, citando Kauth e Thomas, comentam que muito embora a cobertura vegetal de um campo de cultura, em estágio avançado de crescimento, elimine a influência dos solos, as culturas localizadas em diferentes solos, não são plantadas igualmente na mesma data e nem crescem com a mesma taxa de desenvolvimento, nos diferentes tipos de solo.

Wiegand et al. (1973), em trabalho realizado para deduzir, a partir de respostas espectrais do MSS do LANDSAT-1, a densidade de biomassa vegetal, afirmam que as respostas dos dados do LANDSAT-1 podem estar relacionadas ao desenvolvimento do estágio das culturas, o que possibilita, juntamente com a análise espectral, a escolha da época mais propícia para análise de uma cultura. Segundo os autores, fatores como percentagem de cobertura do solo pelas culturas, porte das plantas, entre outros, são parâmetros que, de uma maneira ou de outra, devem influir na resposta espectral dos dados de satélite.

2.3 - MÉTODOS UTILIZADOS NO TRATAMENTO DOS DADOS DO LANDSAT

Segundo Bauer (1976), a análise de dados obtidos por sensoriamento remoto pode ser feita através de dois metodos: interpretação visual da imagem e interpretação automática. Na análise automática de dados de sensoriamento remoto, utilizam-se, fundamentalmente, as variações espectrais. Todavia, conforme as circunstâncias, são utilizadas também informações temporais e espaciais, em complementação às informações provenientes das variações espectrais.

Draeger et al. (1973) desenvolveram um trabalho a partir de um sistema integrado, que utiliza tanto o homem como o computador, tomando como suporte dados terrestres, fotografias tiradas de avião e imagens obtidas por satélite, com o objetivo de inventariar áreas ocupadas com culturas, a nível regional. A seguir são apresentados os passos utilizados:

- 1) procedeu-se inicialmente, a um delineamento de estratos homogêneos, dentro de uma imagem do LANDSAT, realizada por fotointérpretes;
- 2) fez-se a classificação ponto a ponto da área, dentro de cada estrato, com base no tipo de cultura, usando-se um sistema de processamento de dados digitalizados, mediante uma interação homem e máquina; e
- 3) realizou-se através de áreas selecionadas previamente, com informações de dados de fotografias aéreas e informações de verdade terrestre, uma verificação e correção da classificação, obtida a partir de dados de satélite.

Dietrich et al. (1975) realizaram um estudo no qual, utilizando dados digitalizados do LANDSAT, fizeram a identificação e avaliação de áreas ocupadas com culturas, usando para análise o sistema interativo IMAGE-100 (I-100). Segundo os autores, a análise dos dados digita

lizados do LANDSAT, através do sistema I-100, é uma técnica eficiente, rápida e de grande potencialidade.

Johnson e Coleman (1973) afirmam que a obtenção de informações sobre as culturas, com a finalidade de gerar inventários agrícolas, poderá ser feita, combinando-se, da melhor maneira possível, a capacidade do homem com a agilidade da máquina e obter daí resultados rápidos.

Em trabalho realizado no nordeste de Illinois, através de análise automática dos dados do MSS do LANDSAT, Bauer e Cipra (1973) mostraram que esse método é eficiente para identificação de culturas em grandes áreas, ao obter um desempenho de 83% na classificação de milho e soja, naquela região.

Segundo Hall e Bauer (1974) um grande problema na classificação automática de culturas, usando dados de satélite, é a escolha correta de áreas utilizadas para treinamento do computador, principalmente quando estas áreas estão localizadas próximas ou na interseção de dois temas agrícolas distintos, mas de padrão espectral bastante semelhante. Nesta situação, concluem os autores, é de todo conveniente não se tomar estas áreas para treinamento.

Van Genderen et al. (1978) acham que um dos principais problemas relacionados às técnicas de utilização de dados, obtidos através de sensoriamento remoto, é a inexistência de técnicas apropriadas que permitam, através de amostragem, determinar pontos de controle para verdade terrestre. A escolha de qualquer técnica amostral é sempre limitada por questões de custo e tempo. De acordo com os autores, duas técnicas podem ser utilizadas em trabalho dessa natureza: a técnica de amostragem estratificada e a técnica de amostragem casualizada. Com relação ao segundo caso, Van Genderen et al. (1978), citando Zonneveld, dizem que a utilização de técnicas de amostragem ao acaso, voltada para trabalhos de avaliação de áreas de ocupação da terra, acarreta uma distorção no sentido de que as áreas mais extensas são superestimadas, em

detrimento das pequenas áreas, que poderão até nem serem estimadas. Daí, concluem eles, que a seleção de áreas homogêneas ou estratos são mais representativos.

Hay (1974), a partir de um estudo de estratificação numa região da Califórnia, nos Estados Unidos, demonstrou que para a estratificação agrícola, as imagens LANDSAT mostraram vantagem sobre as fotografias aéreas já que, em virtude do alto custo destas, é praticamente impossível o seu uso atualizado em áreas que periodicamente são modificadas, como é o caso das áreas agrícolas.

O passo inicial para se proceder a um inventário de culturas, segundo trabalho realizado por Draeger (1973), na Califórnia, a partir de imagens de satélite, foi a estratificação das categorias de uso da terra e classes de cultura. Pelos resultados obtidos, ele concluiu que é extremamente importante o delineamento de estratos realmente significativos, feito pelo intérprete, e que, a combinação dessa decisão humana com a capacidade mecânica de classificação dos sistemas automáticos, constitui-se em poderoso recurso de tratamento de informações de interesse agrícola, a nível de grandes regiões.

De acordo com Shlien e Goodenough (1973), a investigação tem demonstrado que a acurácia da classificação automática, usando a regra de decisão de máxima verossimilhança, tem sido da ordem de 85% nos casos de classificação de floresta. Para os casos de identificação de culturas, os resultados ainda são questionados, e a baixa acurácia dos resultados de classificação das culturas é devida à falta de controle de verdade terrestre.

A fim de reduzir a influência do analista no tratamento de dados multiespectrais, visando a classificação automática, Davis e Swain (1974) estabeleceram os seguintes passos:

- 1) especificação do problema a ser analisado;

- 2) agrupamento das áreas de treinamento, para isolar as subclasses espectrais, cujas distribuições unimodais se aproximam das distribuições normais das classes selecionadas, de acordo com a definição do problema;
- 3) interpretação dos resultados de cada grupo das subclasses; e
- 4) classificação dos dados de cada classe, definida na especificação do problema.

Segundo ainda os autores, a limitação da influência do analista resulta numa perda da acurácia de classificação. Todavia, essa perda é compensada pela velocidade e objetividade do procedimento por análise automática.

Com relação à confiabilidade da classificação de dados do LANDSAT, tratados a partir do analisador multiespectral IMAGE-100, Economy et al. (1974) dizem que a acurácia dessa classificação depende não somente da metodologia utilizada para reconhecimento da assinatura espectral, mas também da qualidade e veracidade da informação da verdade terrestre utilizada pelo analista.

Para medir a acurácia da classificação de diferentes usos da terra, a partir de dados de satélite, Landgrebe (1973) utilizou o método de amostragem, que consistiu na escolha de áreas retangulares, totalmente controladas de acordo com os diferentes usos da terra e, através destas áreas, foi determinada a acurácia para cada classe.

Em trabalho realizado no condado de Greeley, no Kansas, Baumgardner e Henderson (1973) identificaram, a partir de fotografias no infravermelho coloridas, três temas: trigo, solo nu e pastagem permanente. As áreas ocupadas com cada um desses temas foram utilizadas como áreas de treinamento para classificação automática, utilizando-se dados orbitais do satélite LANDSAT-1, cujos resultados em termos de acurácia, medidos em relação aos dados obtidos por avião, foram os seguintes:

| <u>CLASSES</u> | <u>% CORRETA DE CLASSIFICAÇÃO</u> |
|----------------|-----------------------------------|
| Pasto | 96,1 |
| Trigo | 97,0 |
| Solo nu | 97,9 |

2.4 - USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE ÁREAS OCUPADAS COM A CULTURA DA CANA-DE-ACÚCAR

Em 1975, os integrantes da equipe do Projeto EAGRI do INPE, conforme Batista et al (1976), iniciaram uma pesquisa cujo objetivo final era a "elaboração de um sistema de aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, com ênfase no uso de imagens do satélite LANDSAT, e técnicas de processamento automático, com o objetivo de desenvolver um sistema de previsão de safras". O Município de Jardinópolis, situado na região agrícola de Ribeirão Preto, no Estado de São Paulo, foi a primeira área escolhida para estudo. Nesse ano, foi feito, utilizando fotografias no infravermelho coloridas, na escala 1:20.000, um mapa temático de todas as culturas existentes no Município.

Entre as culturas mapeadas constava a cultura da cana-de-açúcar com uma área, segundo esse levantamento, de 2.509 ha., o que significava 4,81% da área de estudo. A seguir, na mesma área de estudo, foi feita uma classificação automática, usando dados digitalizados do LANDSAT-2, através do I-100, para os temas algodão, cana-de-açúcar, soja e pasto. A área de cana obtida através dessa classificação foi de 2.139,5 ha., ou seja, uma diferença de 15%, em relação à área anteriormente obtida, usando-se fotografias aéreas.

Os estudos de pesquisas da equipe do EAGRI prosseguiram e em 1976, Batista et al. (1977) repetiram, no mesmo Município de Jardinópolis, um experimento que objetivou estudar a viabilidade do uso amostral de fotografias aéreas no infravermelho coloridas, na escala de 1:10.000, para identificação e avaliação de áreas de culturas de expressão econômica. A fotointerpretação dos temas algodão, café, cana, soja e pomar

teve um índice de 100% de acerto. Encontraram para a cana-de-açúcar uma área de 5.237 ha. Tal resultado demonstrou que houve no Município de Jardinópolis, do ano de 1975 para o ano de 1976, um incremento de área da cultura da cana da ordem de 109%.

Em 1977, a mesma equipe desenvolveu, paralelamente, duas pesquisas. A primeira, Mendonça et al. (1978) realizaram um estudo com parativo de interpretação automática e visual em imagens LANDSAT, visando a identificação da cultura da cana-de-açúcar. Neste estudo, utilizando-se dados do MSS do LANDSAT, passagem 1/7/77, foi feita a identificação e avaliação da cana-de-açúcar na área teste, através dos métodos de classificação automática e visual. O resultado, em termos de acurácia, foi de 83%, usando-se o método de classificação automática e 89%, empregando o método de classificação visual. A seguir, outras datas foram utilizadas. Após obtidos os resultados, concluiu-se que, para os dados de satélite, a classificação automática de cana-de-açúcar pareceu sempre menos precisa que a classificação visual. Com efeito, explicam eles, é muito difícil escolher áreas de treinamento representativas de todos os padrões de cana existentes no campo.

A segunda pesquisa do ano de 1977 do projeto EAGRI, realizada por Batista et al (1978), referia-se ao uso de dados orbitais para identificação e avaliação de áreas de cana-de-açúcar. Este trabalho teve as mesmas características da pesquisa desenvolvida por Mendonça et al. (1978), citada anteriormente, com a diferença de que a área de estudo dessa segunda pesquisa era bem mais extensa. As conclusões a que chegaram os autores, após a realização desse trabalho, foram as seguintes:

- 1) "entre os dados disponíveis do LANDSAT, a passagem de 1/7/77 constituiu-se como a época mais propícia para se proceder a avaliação de área ocupada com cana-de-açúcar, seja usando o método de interpretação visual, seja o método de interpretação automática";

- 2) "o emprego do método de interpretação visual ou automática com dados do satélite LANDSAT, para identificação e avaliação de áreas ocupadas com cana-de-açúcar, não diferiram significativamente entre si, quanto à acurácia";
- 3) "os resultados obtidos mostraram uma acurácia da avaliação das áreas ocupadas com cana-de-açúcar, usando-se o método de interpretação automática, com o I-100, acima de 80%";
- 4) "os fatores relacionados com a própria cultura da cana, tais como estágio de desenvolvimento, época de plantio e de colheita e variedade, influenciaram decisivamente na resposta espectral da cana afetando, conseqüentemente, a precisão de identificação e avaliação de área da mesma, fosse a interpretação feita na imagem fotográfica ou em CCT (fitas compatíveis com o computador)".

2.5 - A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR (SACCHARUM SPP)

A cana-de-açúcar é uma gramínea perene, pertencente ao gênero Saccharum, própria de climas tropicais e subtropicais (Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1972).

De acordo com os autores do livro publicado pelo Instituto Campineiro de Ensino Agrícola (1972), sobre as principais culturas, a cana-de-açúcar desenvolve-se em todos os Estados do Brasil. Entretanto, a zona de grande produção compreende, principalmente, os estados próximos à costa, do Nordeste até o Paraná, entre 8° e 23° de latitude Sul.

Segundo trabalho realizado pela Comissão de Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo (São Paulo, 1974), as exigências climáticas da lavoura canavieira podem diferir bastante, segundo a finalidade: açúcar de usina, aguardente ou forragem. Com relação às lavouras de cana destinadas à produção de açúcar, são mais exigentes em clima. Como há necessidade de alta produção de sacarose, a planta necessita encontrar condições térmicas e hídricas adequadas no período vegetativo, para ter

um desenvolvimento satisfatório e uma estação de repouso com acentuada restrição hídrica ou térmica, para aumentar o teor de sacarose, durante a época do corte.

A citada Comissão de Zoneamento Agrícola diz que no Estado de São Paulo encontram-se as mais variadas condições e restrições climáticas para a lavoura canavieira. Certas áreas possuem clima que se pode considerar ideal, sem restrição alguma. Outras apresentam restrições, quer térmicas, quer hídricas, mas que permitem a cultura econômica, sem exigir recursos e técnicas agronômicas especiais.

De acordo com os parâmetros climáticos, edáficos e fitossanitários, estudados pela Comissão de Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo para a cana-de-açúcar, foi feito um zoneamento ecológico para a cultura canavieira mostrada na Figura II.1

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY



Fig. 11.1 - Zoneamento ecológico para a cultura canavieira.

Fonte: SÃO PAULO, SECRETARIA DE AGRICULTURA (1974), Carta 6.3.1

CAPÍTULO III

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Governo do Estado de São Paulo dividiu o Estado em grandes Regiões Administrativas, segundo o critério de polarização urbana. A Secretaria da Agricultura, por sua vez, adotou essa mesma divisão, mediante ligeiras adaptações, para adquirir maior funcionalidade aos fins a que se propunha. Assim, o Estado ficou dividido em dez Divisões Regionais Agrícolas (DIRA), conforme se pode ver na Tabela III.1.

TABELA III.1

DIVISÕES REGIONAIS AGRÍCOLAS (DIRA) DO ESTADO DE SÃO PAULO

| NOME DIRA | ÁREA (KM ²) | PERCENTAGEM EM RELA- ÇÃO A ÁREA TOTAL DO ES- TADO DE SÃO PAULO |
|-----------------------|----------------------------|--|
| SÃO PAULO | 23.517 | 9,46 |
| VALE DO PARAÍBA | 14.291 | 5,75 |
| SOROCABA | 40.594 | 16,33 |
| CAMPINAS | 27.058 | 10,88 |
| RIBEIRÃO PRETO | 36.608 | 14,73 |
| BAURU | 16.234 | 6,53 |
| MARÍLIA | 18.967 | 7,63 |
| SÃO JOSE DO RIO PRETO | 27.223 | 10,95 |
| PRESIDENTE PRUDENTE | 25.077 | 10,09 |
| ARAÇATUBA | 19.031 | 7,66 |
| TOTAL | 248.600 | 100,00 |

De acordo com o mapa de zoneamento ecológico das culturas (Figura II.1) feito pela Comissão de Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo (São Paulo, 1974), a região central do Estado é a que reúne me lhores condições climáticas e edáficas para a cultura canavieira.

As estimativas finais para o ano agrícola de 1977/78 feitas pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA) e pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) da Secretaria de Agricultura de São Paulo, referentes à cana-de-açúcar (São Paulo, 1978) estão na Tabela III.2.

TABELA III.2

ESTIMATIVA DE JUNHO DE 1977 DA ÁREA DE CANA-DE-AÇÚCAR DO
ESTADO DE SÃO PAULO, SEGUNDO SUA UTILIZAÇÃO (CANHA PARA IN-
DÚSTRIA E PARA FORRAGEM) EM CADA DIVISÃO REGIONAL AGRÍCO-
LA, OBTIDA PELA SECRETARIA DA AGRICULTURA DE SÃO PAULO

| DIVISÃO REGIONAL AGRÍCOLA | CANHA PARA INDÚSTRIA | | CANHA PARA FORRAGEM (HA) | ÁREA DE CANHA TOTAL |
|------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------|
| | CANHA PLANTA (HA) | CANHA P/CORTE (HA) | | |
| SÃO PAULO | 840 | 1.290 | 2.200 | 4.330 |
| VALE DO PARAÍBA | 480 | 1.280 | 14.000 | 15.760 |
| SOROCABA | 7.000 | 44.860 | 5.500 | 57.360 |
| CAMPINAS | 47.500 | 246.170 | 10.500 | 304.170 |
| RIBEIRÃO PRETO | 111.400 | 361.830 | 10.400 | 483.630 |
| BAURU | 29.900 | 124.140 | 3.800 | 157.840 |
| MARÍLIA | 7.780 | 46.910 | 4.400 | 59.090 |
| SÃO JOSÉ DO RIO PRETO | 13.100 | 24.650 | 8.500 | 46.250 |
| PRESIDENTE PRUDENTE | 3.050 | 9.610 | 7.800 | 20.460 |
| ARAÇATUBA | 3.050 | 10.050 | 4.400 | 17.500 |
| TOTAL | 224.100 | 670.790 | 71.500 | 1.166.390 |

Com os dados das Tabelas III.1 e III.2 foram determinados o índice de percentagem de ocorrência de área ocupada com cana-de-açúcar (a), e o índice de percentagem de concentração da cultura de cana (c), respectivamente, para cada DIRA, assim definidos:

$$a_i = \frac{\text{área ocupada com cana-de-açúcar na DIRA } i}{\text{área ocupada com cana-de-açúcar em todo Estado}} \times 100$$

onde:

a_i ($i = 1, 2, \dots, 10$) percentagem da ocorrência de cana na DIRA i , em relação ao total da cana do Estado de São Paulo.

$$c_i = \frac{\text{área ocupada com cana-de-açúcar na DIRA } i}{\text{área geográfica da DIRA } i} \times 100$$

onde:

c_i ($i = 1, 2, \dots, 10$) percentagem da densidade da população canavieira dentro da DIRA i .

A Tabela III.3 mostra o valor dos índices acima definidos, os quais permitem dar uma idéia de distribuição geográfica e concentração da cana-de-açúcar em cada Divisão Regional Agrícola.

Utilizando-se, como fonte primária de informação, os dados históricos de cinco anos de área cultivada com cana, conforme se pode observar na Figura III.1 e no mapa de zoneamento ecológico da cultura canavieira (Figura II.1), e, principalmente, com base nos dados da Tabela III.3, foram estabelecidos critérios para se proceder a uma divisão bem ampla da cana-de-açúcar do Estado de São Paulo, em grupos, arbitrariamente, definidos de acordo com os índices de ocorrência e concentra-

ção da cultura. Assim sendo, três grupos foram definidos, segundo as seguintes características: pertenceriam ao Grupo I aquelas DIRA que apresentassem um índice de ocorrência maior que 10% e concentração de cana maior que 5%; o Grupo II seria definido para aquelas DIRA que tivessem o índice de ocorrência de área menor que 10% e maior que 3%, e o índice de concentração menor que 5%; as DIRA com índice de ocorrência de área e índice de concentração menor que 3% e 5%, respectivamente, pertenceriam ao Grupo III. A Tabela III.4 mostra a composição desses três grupos.

TABELA III.3

ÍNDICES DAS PERCENTAGENS DE OCORRÊNCIA E CONCENTRAÇÃO
DA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR, EM CADA DIVISÃO REGIONAL
AGRÍCOLA DO ESTADO DE SÃO PAULO

| DIVISÃO REGIONAL AGRÍCOLA | ÍNDICE DE OCORRÊNCIA (A) DE CANA (%) | ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO (C) DE CANA (%) |
|------------------------------|--------------------------------------|--|
| SÃO PAULO | 0,37 | 0,18 |
| VALE DO PARAÍBA | 1,35 | 1,10 |
| SOROCABA | 4,92 | 1,41 |
| CAMPINAS | 26,08 | 11,24 |
| RIBEIRÃO PRETO | 41,46 | 13,21 |
| BAURU | 13,53 | 9,72 |
| MARÍLIA | 5,07 | 3,12 |
| SÃO JOSÉ DO RIO PRETO | 3,97 | 1,70 |
| PRESIDENTE PRUDENTE | 1,75 | 0,82 |
| ARAÇATUBA | 1,50 | 0,92 |

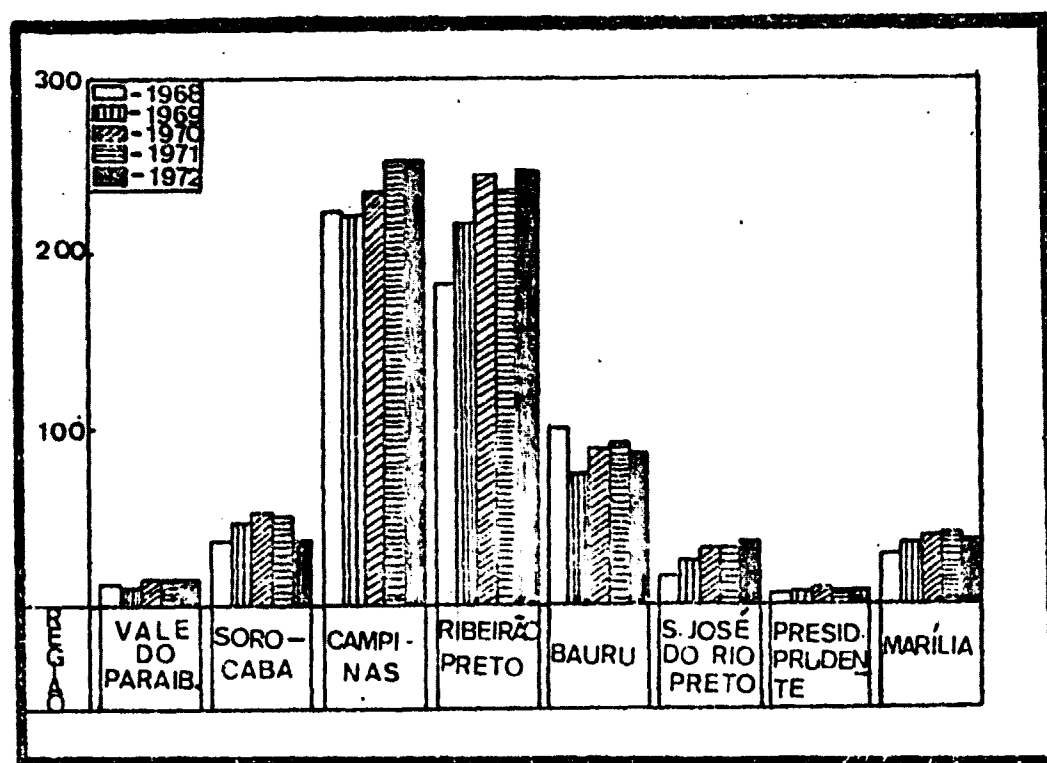


Fig. III.1 - Área cultivada com cana-de-açúcar - 1968-72, em 100 hectares.

Fonte: SÃO PAULO, D.A.E.E. (1973), p.15

TABELA III.4

ÍNDICES DE OCORRÊNCIA E CONCENTRAÇÃO
DA CANA-DE-AÇÚCAR EM CADA GRUPO

| GRUPO | DIVISÃO REGIONAL AGRÍCOLA | ÍNDICE DE OCORRÊNCIA DE CANA | ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO |
|-------|---------------------------|------------------------------|------------------------|
| | | (a) % | (c) % |
| I | CAMPINAS | 26,08 | 11,24 |
| | RIBEIRÃO PRETO | 41,46 | 13,21 |
| | BAURU | 13,53 | 9,72 |
| II | SOROCABA | 4,92 | 1,41 |
| | MARÍLIA | 5,07 | 3,12 |
| | SÃO JOSÉ DO RIO PRETO | 3,97 | 1,70 |
| III | SÃO PAULO | 0,37 | 0,18 |
| | VALE DO PARAÍBA | 1,35 | 1,10 |
| | PRESIDENTE PRUDENTE | 1,75 | 0,82 |
| | ARAÇATUBA | 1,50 | 0,92 |

Estabelecidos os grupos com os respectivos índices de ocorrência de área e de concentração de cana, determinou-se, conforme mostra a Tabela III.5, o índice percentual de ocorrência de cana para indústria (CI) e cana para forragem (CF), a cada grupo.

TABELA III.5

ÍNDICE DE OCORRÊNCIA DE CANA PARA INDÚSTRIA (CI)
E PARA FORRAGEM (CF), EM RELAÇÃO À CANA TOTAL (CT)
DO ESTADO DE SÃO PAULO

| GRUPO | $\left(\frac{CI}{CT}\right) \times 100$ | $\left(\frac{CF}{CT}\right) \times 100$ |
|-------|---|---|
| I | 78,96 | 2,12 |
| II | 12,38 | 1,57 |
| III | 2,54 | 2,43 |
| TOTAL | 93,88 | 6,12 |

Para a escolha da área de estudo, foram estabelecidos os seguintes requisitos:

- 1) que a área a ser estudada apresentasse uma elevada concentração da cultura da cana-de-açúcar; e
- 2) que a população canavieira da área de estudo, fosse de real expressão econômica dentro do Estado de São Paulo.

Com base nesses pré-requisitos, a área de estudo escolhida foi aquela compreendida, em quase sua totalidade, pelos grupos I e II. O grupo III, além de apresentar uma baixa concentração de áreas ocupa-

das com cana-de-açúcar, era composta em quase 50% de cana para forragem, sendo, portanto, excluída da área de estudo.

A fim de se conhecer, dentro da área de estudo, a nível de município, a ocorrência da cana-de-açúcar, foram utilizados dados disponíveis de fins de 1977, sobre estimativa de área plantada com cana em 473 municípios paulistas, dados esses cedidos pelo Instituto de Economia Agrícola da Secretaria da Agricultura de São Paulo. Da análise desses dados resultou a divisão da área de estudo em duas classes: C₁ e C₂. Essas classes foram assim definidas: conhecida a estimativa da área plantada com cana nos 326 municípios integrantes da área de estudo, determinouse a média aritmética da área de cana (\bar{X}), utilizando a seguinte fórmula:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i$$

onde:

A_i = área estimada de cana plantada no município i

N = número total de municípios com área de cana plantada, dentro da área de estudo.

Posteriormente, a área de cana plantada, de cada município, foi comparada com a média \bar{X} calculada. Aqueles municípios que possuíam sem uma estimativa de área de cana plantada igual ou superior à média calculada \bar{X} pertenceriam à classe C₁. Caso contrário, valores de estimativas inferiores a \bar{X} , pertenceriam à classe C₂. O valor da média calculada foi de 3.400 ha.

A Figura III.2 mostra o mapa da área de estudo, sobre o qual pode-se ver a distribuição geográfica da cana-de-açúcar. Nesse mapa, ficou patenteado que a grande concentração, representada pela classe C₁, está localizada na parte central do Estado de São Paulo, o que significa, de acordo com estimativa calculada, que a classe C₁ representa 83% da cana existente na área de estudo.

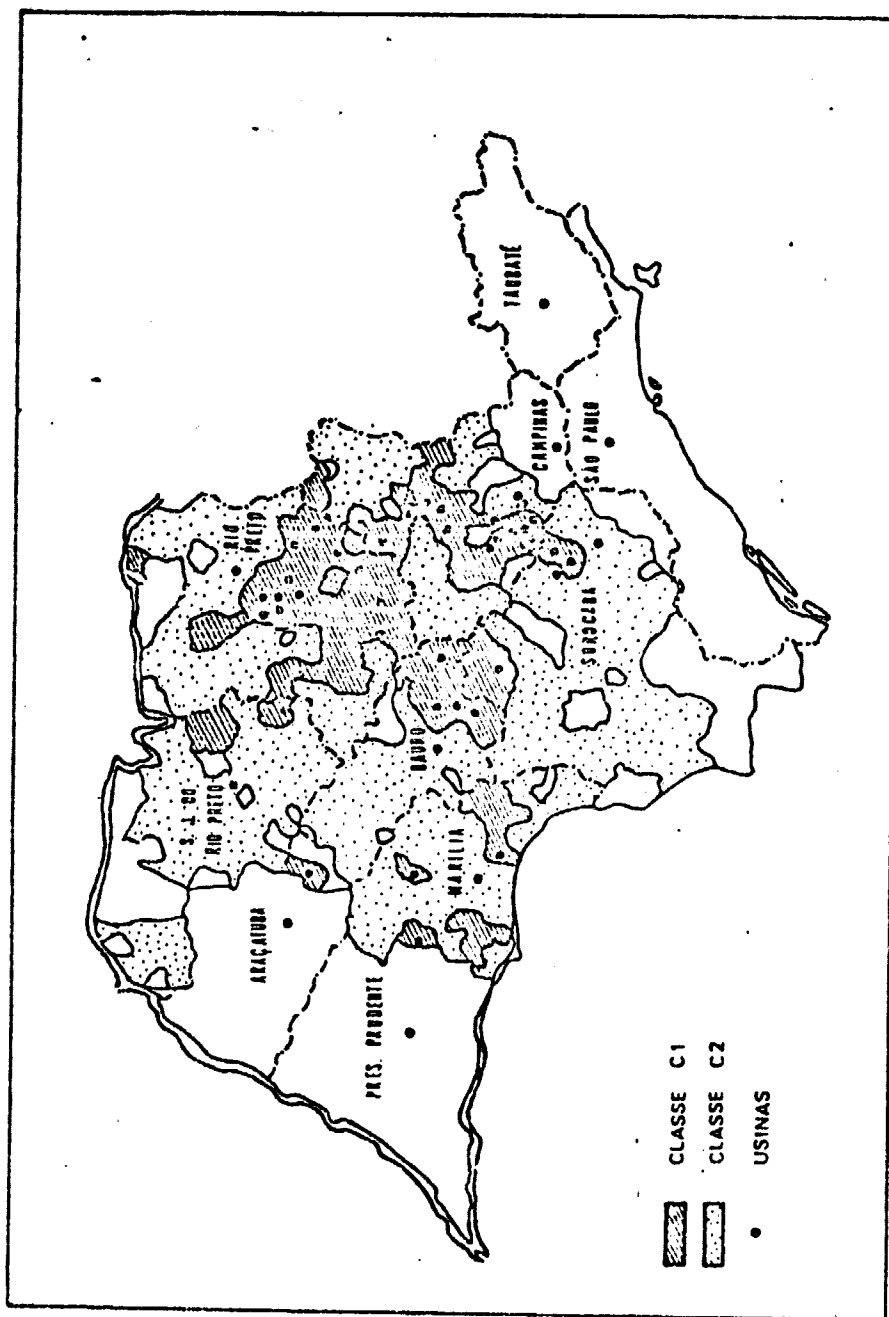


Fig. III.2 - Mapa com as classes de concentração de cana-de-açúcar e a localização das principais usinas.

Com o objetivo de se certificar ainda mais sobre a veracidade da distribuição geográfica da cana-de-açúcar, dentro da área de estudo, foi feita a demarcação da maioria das usinas do Estado de São Paulo, sobre o mapa da Figura III.2. A predominância de localização das usinas, sobre a classe C₁, é um indício bem provável da área de maior expressão econômica de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo.

3.2 - LOCALIZAÇÃO, EXTENSÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.2.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A localização da área de estudo, em relação ao Estado de São Paulo, é apresentada no mapa da Figura III.3.

3.2.2 - EXTENSÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Dos 629 municípios do Estado (IBGE, 1970), 473 municípios, segundo dados do Instituto de Economia Agrícola da Secretaria da Agricultura, possuem, de alguma forma, áreas ocupadas com a cultura de cana-de-açúcar. A área escolhida para estudo abrange 326 municípios, que correspondem a uma extensão de 162.352 km² ou 65,6% da área total do Estado de São Paulo.

3.2.3 - DESCRIÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO

A geologia da área de estudo abrange, em quase sua totalidade, duas grandes unidades geológicas: Formação Bauru e Grupo São Bento, este último, constituído pelas formações Serra Geral e Botucatu-Pirambóia (Figura III.4).

Com relação aos solos da área de estudo, a Tabela III.6 mostra os seus principais solos e algumas de suas características, segundo o levantamento do Ministério de Agricultura (Brasil, 1960). No mapa da Figura III.5, pode-se ver a distribuição desses principais grupos de solo no Estado de São Paulo.

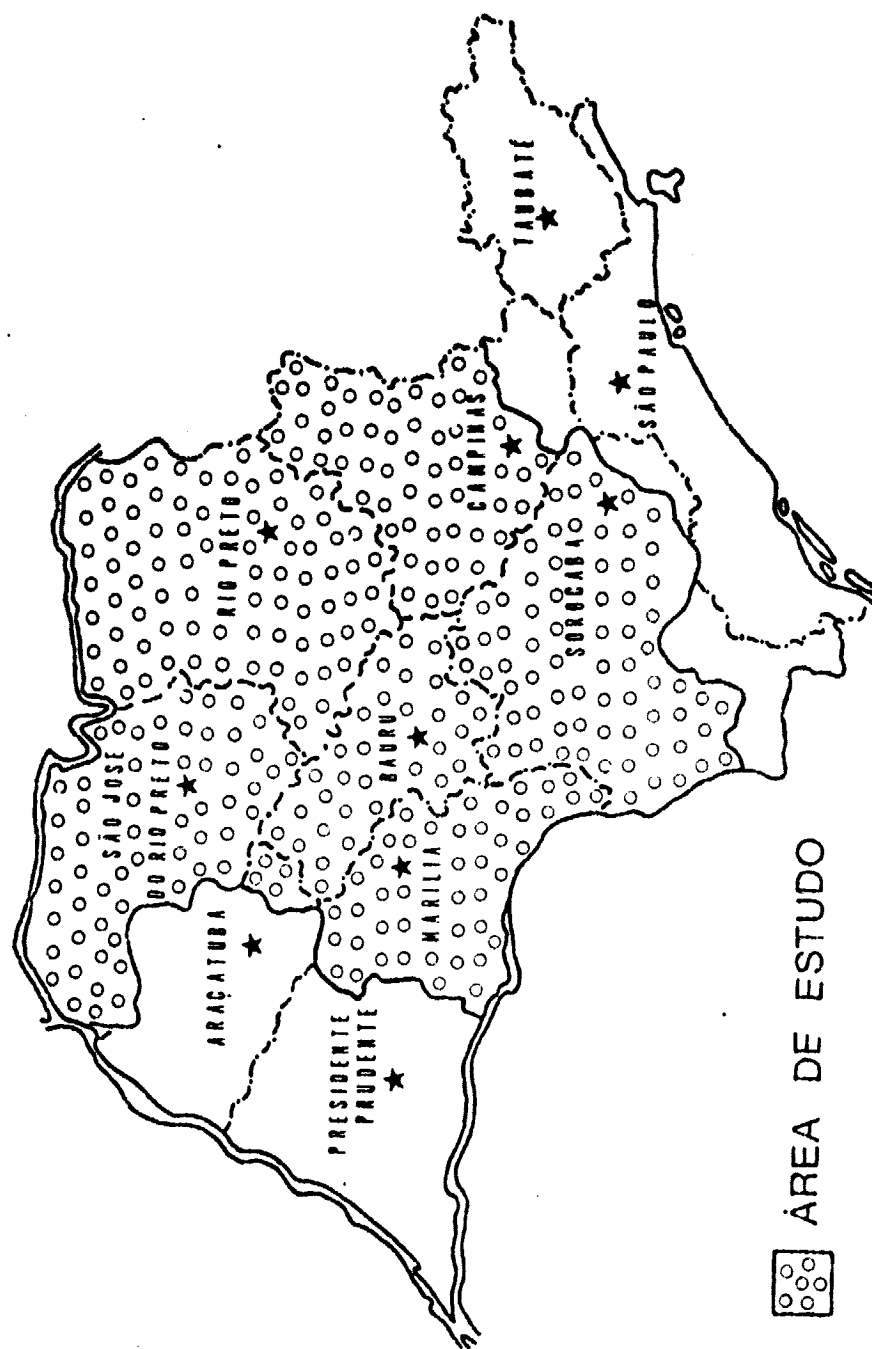


Fig. III.3 - Localização da área de estudo em relação ao Estado de São Paulo.

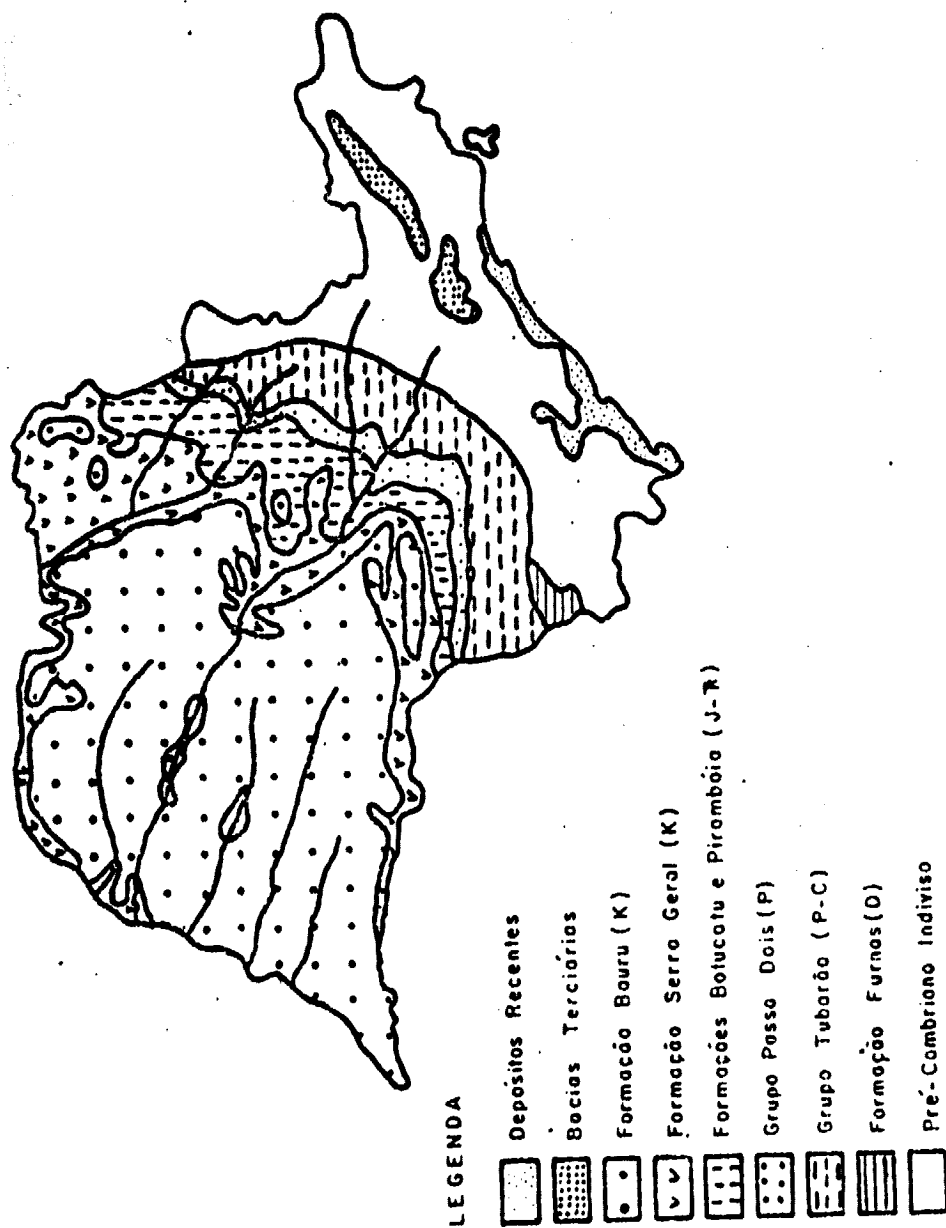


Fig. III.4 - Mapa geológico esquemático do Estado de São Paulo.

Adaptado de SÃO PAULO, INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO - IGG, (1963).

TABELA III.6

RELAÇÃO DOS PRINCIPAIS SOLOS DA ÁREA DE ESTUDO
E ALGUMAS DE SUAS CARACTERÍSTICAS

| GRUPO DE SOLOS | MATERIAL DE ORIGEM | CLASSES DE RELEVO | TEXTURA |
|---|---|---------------------------------------|---|
| PV PODZÓLICO VER- MELHO AMARELO | GRANITO - GNAISSES - ARGILITOS - FOLHE- LHOS - ARENITOS | CNDULADO A FORTE MENTE ONDULADO | ARENOSA A ARGILOSA |
| P SOLOS PODZOLI- ZADOS DE LINS E MARÍLIA | ARENITO BAURU COM CIMENTO CALCÁRIO | SUÁVEMENTE A FOR- TEMENTE ONDULADO | BARRO ARENO- SA OU ARENO- SA BARRENTA |
| TR TERRA ROXA ESTRUTURADA | SEDIMENTO DE NATURE- ZA ARGILOSA E ARENO- SA - DOLOMITOS E CALCÁRIOS | PLANO A SUAVE ON- DULADO | ARGILOSA |
| LV LATOSSOLO VERMELHO AMARELO | ARENITO DE BOTUCATU | SUAVEMENTE ONDU- LADO A ONDULADO | BARRO - ARE- NO - ARGÍ- LOSO |
| LE LATOSSOLO VERMELHO ESCURO | ARGILITO - ARENITO BAURU SEM CIMENTO CALCÁRIO | SUAVEMENTE ONDU- LADO A ONDULADO | BARRO - ARE- NOSA A BAR- RO - ARENO - ARGILOSA |
| LR LATOSSOLO ROXO | ERUPTIVAS BÁSICAS | SUAVEMENTE ONDU- LADO A ONDULADO | ARGILOSA |

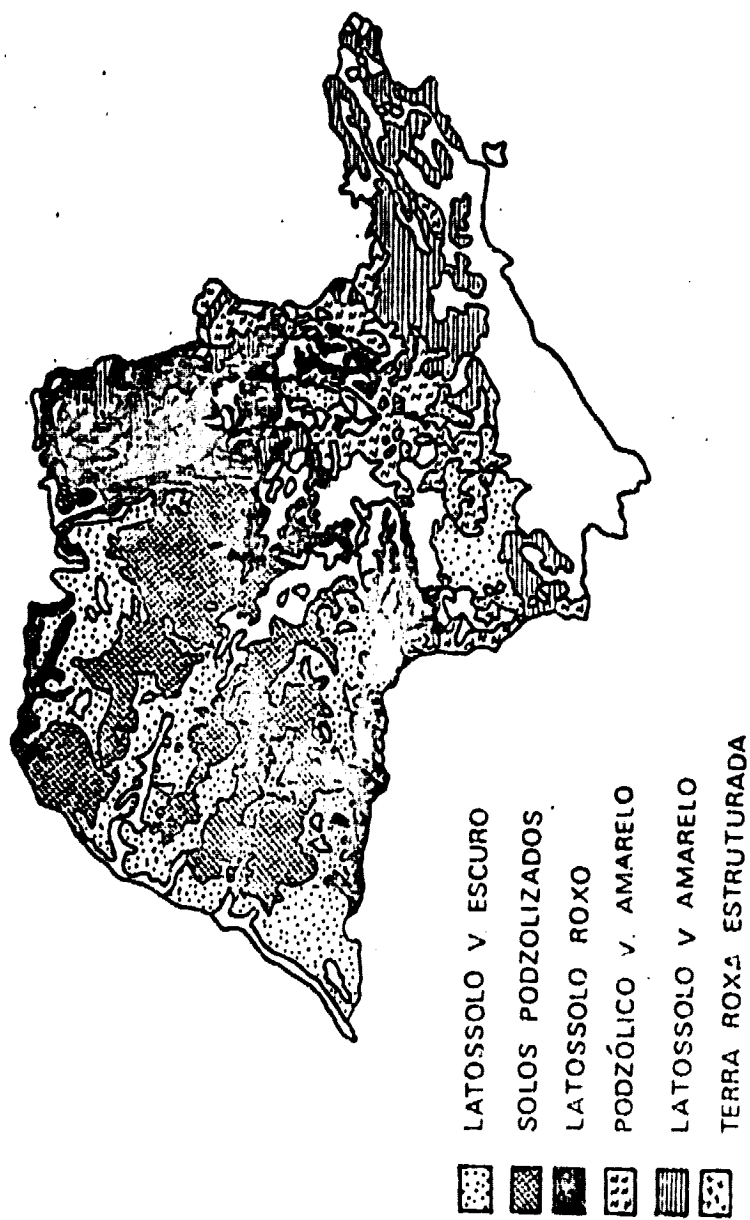


Fig. III.5 - Mapa esquemático, mostrando os principais solos do Estado de São Paulo.

Fonte: BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, (1960).

- 31 -

De acordo com o sistema de Köppen, os tipos de clima que predominam na área de estudo são Aw e Cwa e, em menor escala, Cfa, no Sul da área de estudo (Figura III.6).

A Tabela III.7 mostra as características dos três tipos de clima da área de estudo, descritas por Setzer (1966).

TABELA III.7

CARACTERÍSTICAS DOS TRÊS PRINCIPAIS TIPOS DE
CLIMA DA ÁREA DE ESTUDO, SEGUNDO A CLAS-
SIFICAÇÃO INTERNACIONAL DE KÖPPEN

| SÍMBOLO DE KÖPPEN | CLIMAS ÚNIDOS | | TOTAL DE CHUVA DO MÊS MAIS SECO | TEMPERATURA MÉDIA | |
|-------------------------|---------------|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| | | | | DO MÊS MAIS QUENTE | DO MÊS MAIS FRIO |
| Aw | TROPICAL | INVERNO SECO | MENOS DE 30 mm | ACIMA DE 22°C | ACIMA DE 18°C |
| Cwa | QUENTE | | | | ABAIXO DE 18°C |
| Cfa | QUENTE | SEM ESTAÇÃO SECA | MAIS DE 30 mm | | |

3.2.4 - ESTRATIFICAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Estado de São Paulo é coberto por seis passagens ou órbitas em dias consecutivos. A área de estudo foi dividida em quatro estratos, correspondentes às quatro órbitas 164, 178, 192 e 206 (Figura III.7), com o objetivo de se tratar os dados espectrais, de cada estrato, de uma mesma data.

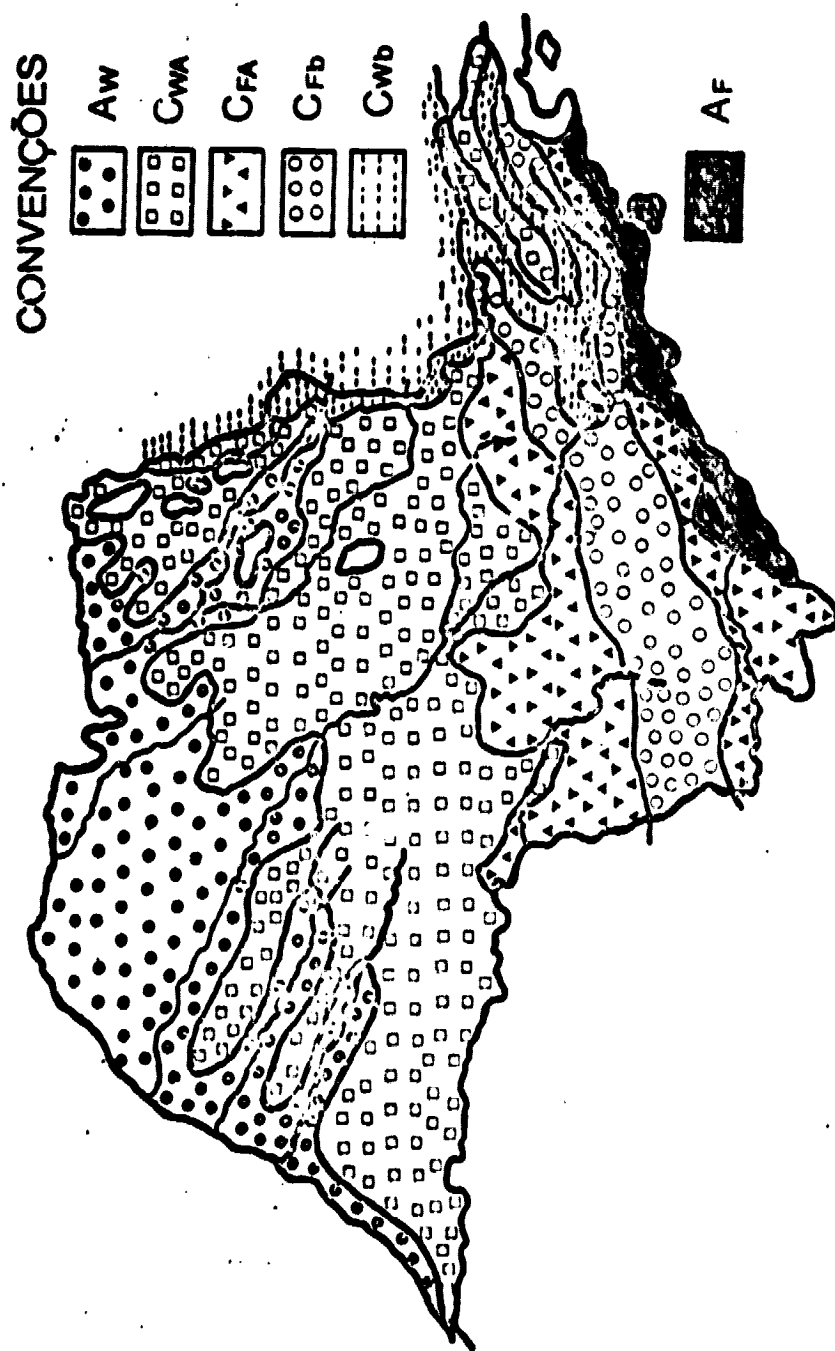


Fig. III.6 - Mapa esquemático da divisão climática do Estado de São Paulo.

Fonte: SEIZER (1966), p.37

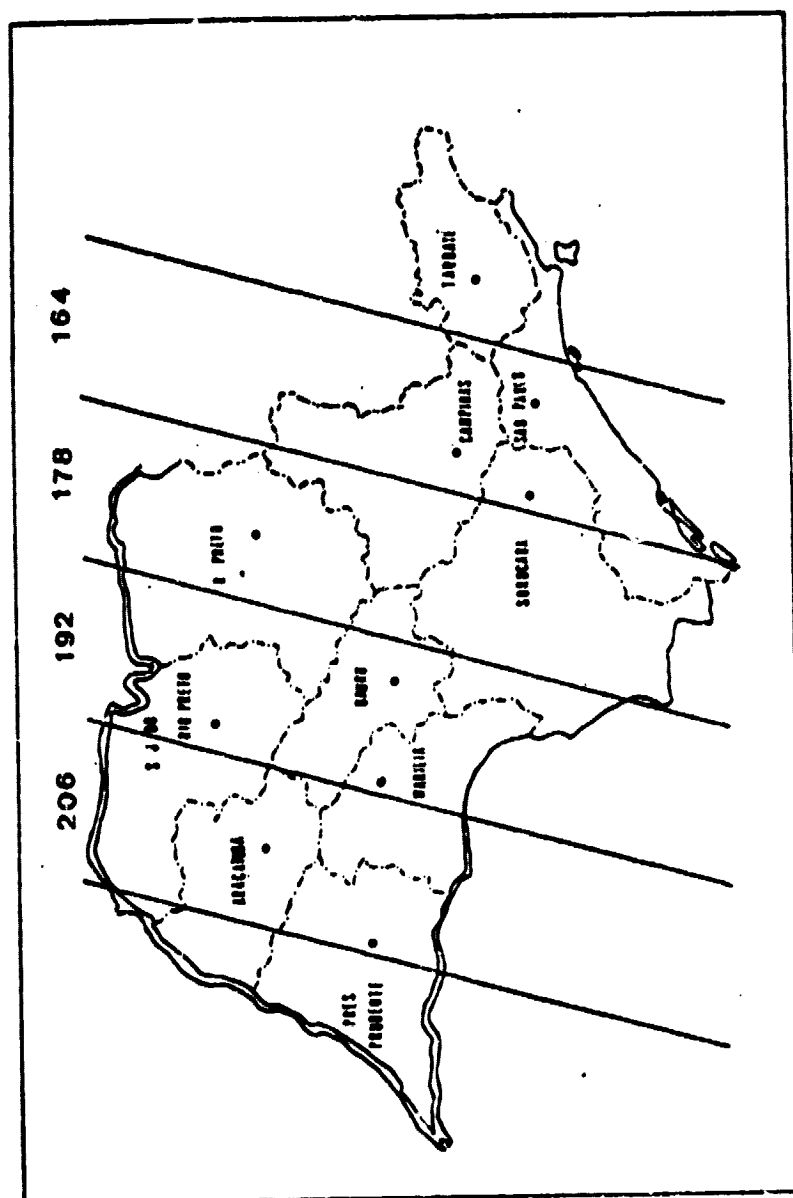


Fig. III.7 - Divisão da área de estudo em estratos.

3.3 - DEFINIÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE TREINAMENTO

Para a escolha dos segmentos a serem aerofotografados, com objetivo de utilizá-los como áreas de treinamento, estabeleceu-se, inicialmente, que a unidade básica da área de estudo, para se empregar qualquer método amostral, seriam os estratos definidos no item 3.2.4.

Considerou-se que os solos e as órbitas se constituíam em fatores preponderantes para identificação da cana-de-açúcar, em imagens LANDSAT. Com as informações de solo obtidas e de acordo com as quatro órbitas, foram selecionados dez segmentos a serem utilizados como áreas de treinamento, cuja distribuição espacial é apresentada no mapa da Figura III.8.

O tamanho planejado para cada segmento foi de um retângulo de 10 x 20 km, no sentido leste-oeste, considerando-se pela experiência já adquirida em outros trabalhos (Batista et al, 1977 e 1978), que um segmento com essas dimensões tem uma alta probabilidade de cobrir os diversos padrões de cana existentes no campo.

Alguns segmentos, como os de Catanduva, Guariba e Araraquara, devido a problemas relacionados à presença de nuvens na época do sobrevôo, tiveram o formato de suas áreas alteradas em relação às dimensões pré-estabelecidas.

A escala planejada foi a de 1:20.000, com recobrimento lateral e longitudinal de 30% e 60%, respectivamente. O sobrevôo foi realizado no período de 27/05/78 a 12/05/78.

3.3.1 - DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE TREINAMENTO

A Tabela III.8 faz uma descrição resumida das dez áreas de treinamento, quanto à sua localização, identificação e suas características.

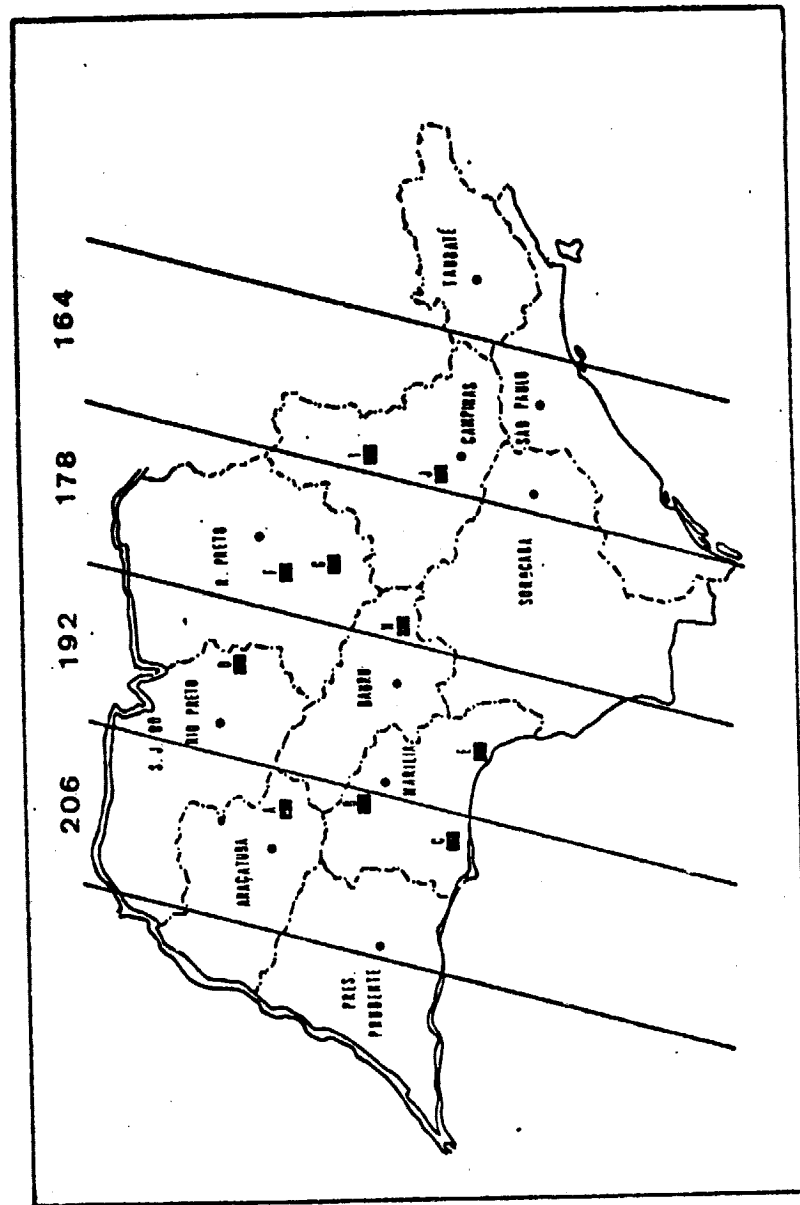


Fig. III.8 - Mapa do Estado de São Paulo, mostrando a distribuição das áreas de treinamento dentro de cada estrato.

TABELA III.8

DESCRIÇÃO DOS SEGMENTOS

| IDENTIFICAÇÃO | | | COORDENADAS GEOGRÁFICAS | | | | CARACTERÍSTICAS | |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------------|--------|----------|--------|---|--|
| ESTRATO | NOME DO SEGMENTO | CÓDIGO DO SEGMENTO | LONGITUDE | | LATITUDE | | CONCENTRAÇÃO DE CANA EM CADA SEGMENTO % | GRUPOS DE SOLO |
| | | | E | W | N | S | | |
| 206 | PENÁPOLIS | A | 50°15' | 50°03' | 21°25' | 21°30' | 16,46 | LATOSSOLO VERMELHO ESCURO FASE ARENOSA |
| | POMPEIA | B | 50°13' | 50°01' | 22°05' | 22°11' | 10,36 | SOLOS PODZOLIZADOS DE LINS E MARILIA VAR. MARILIA |
| | ASSIS | C | 50°39' | 50°28' | 22°45' | 22°33' | 24,54 | LATOSSOLO ROXO |
| 192 | CATANDUVA | D | 49°02' | 48°46' | 21°01' | 21°07' | 30,94 | SOLOS PODZOLIZADOS DE LINS E MARILIA VAR. LINS |
| | OURINHOS | E | 49°51' | 49°39' | 22°56' | 23°01' | 21,67 | LATOSSOLO ROXO |
| 178 | GUARIBA | F | 48°12' | 48°08' | 21°23' | 21°28' | 59,36 | LATOSSOLO ROXO |
| | ARARAQUARA | G | 48°12' | 48°00' | 21°52' | 21°58' | 54,61 | LATOSSOLO ROXO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO FASE ARENOSA |
| | JAU | H | 48°44' | 48°32' | 22°18' | 22°24' | 50,46 | LATOSSOLO ROXO E TERRA ROXA ESTRUTURADA |
| 164 | ARARAS | I | 47°25' | 47°13' | 22°17' | 22°23' | 27,08 | LATOSSOLO VERM. AMARELO FASE ARENOSA LATOSSOLO VERMELHO ESCURO |
| | CAPIVARI | J | 47°41' | 47°29' | 23°00' | 23°06' | 37,16 | PODZOLICO VERMELHO AMARELO VAR. LARAS |

3.3.1.1 - ÁREAS DE TREINAMENTO DO ESTRATO 206

As regiões A, B e C estão localizadas no limite oeste da área de estudo. É uma região de relevo suavemente ondulado a ondulado, onde a presença de vastas áreas ocupadas com pastagens, indica que a região é predominantemente, pastoril.

Do ponto de vista fisiográfico e agrônômico, os segmentos A e B apresentam características bem semelhantes, sendo a pecuária, a exploração dominante nessas áreas. Os talhões de cana-de-açúcar são intercalados por extensas e frequentes áreas de pasto. O segmento B, entre todas as áreas de treinamento, foi o que apresentou menor índice de concentração de área de cana.

O segmento C apresentando manchas predominantes de Latos solo Roxo, possui uma agricultura mais desenvolvida que aquela apresentada por A e B, com grande predominância da cultura de trigo. Todavia, a presença de áreas ocupadas com pasto é ainda significativa.

Os segmentos B e C estão localizados na DIRA de Marília, nos municípios de Pompéia e Assis, respectivamente. Face ao seu índice representativo de concentração de cana para indústria, o Município de Penápolis foi incluído na área de estudo, muito embora pertença à DIRA de Araçatuba, Divisão, essa, excluída da área de estudo, segundo os critérios estabelecidos no item 3.1.

3.3.1.2 - ÁREAS DE TREINAMENTO DO ESTRATO 192

O estrato 192 é cortado pelas DIRA de São José do Rio Preto, Bauru, Marília e uma pequena parte do oeste de Sorocaba. Os segmentos estão assim distribuídos: na DIRA de São José do Rio Preto, no município de Catanduva, o segmento D; na DIRA de Marília, no município de Ourinhos, o segmento E.

Esses dois segmentos possuem características diferentes, principalmente, quanto aos solos. O segmento D está localizado sobre o

grupo dos Solos Podzolizados de superfícies arenosas, com relevos suavemente ondulado a ondulado. No segmento E, por sua vez, predominam solos do grupo Latossolo Roxo, textura argilosa, com relevo variando de ondulado a suave ondulado.

O índice de concentração da população canavieira, no segmento D, é cerca de 43% mais alto que o do segmento E. Além da cultura da cana, o segmento D possui significativas áreas ocupadas com citrus, café e pastagem. O segmento E possui características semelhantes as do segmento C.

3.3.1.3 - ÁREAS DE TREINAMENTO DO ESTRATO 178

O estrato 178 engloba mais de 50% da classe C₁ (mapa da Figura III.2), constituindo-se no estrato mais importante da área de estudo.

As Divisões Regionais Agrícolas que compõem esse estrato são: toda a DIRA de Ribeirão Preto, metade da DIRA de Campinas, a parte ocidental da DIRA de Bauru e quase toda a DIRA de Sorocaba.

Dois segmentos desse estrato estão localizados na DIRA de Ribeirão Preto (o segmento F, no município de Guariba e o segmento G, no município de Araraquara) e um na DIRA de Bauru (o segmento H, no município de Jaú).

A característica desses três segmentos está nas extensas áreas ocupadas com cana. Nesses segmentos, os tratos culturais da cultura são feitos, em sua grande maioria, através de máquinas.

Os três segmentos, em sua quase totalidade, possuem como substrato os solos do grupo Latossolo Roxo. Os segmentos G e H, além do Latossolo Roxo têm sobre sua influência o Latossolo Vermelho Amarelo, fase arenosa, e a Terra Roxa Estruturada, respectivamente.

3.3.1.4 - ÁREAS DE TREINAMENTO DO ESTRATO 164

Somente parte da DIRA de Campinas e da DIRA de Sorocaba integram o estrato 164. Os dois segmentos (I e J) desse estrato estão localizados na DIRA de Campinas, nos municípios de Araras e Capivari, respectivamente.

O segmento I possui solos do grupo Latossolo Vermelho Amarelo, fase arenosa e do grupo Latossolo Vermelho Escuro, com relevo suave ondulado. Ao lado da cultura de cana existem extensas áreas ocupadas com citrus.

O segmento J caracteriza-se por se encontrar numa região de relevo forte ondulado e ondulado, tendo como substrato o grupo dos Solos Podzólico Vermelho Amarelo. É uma área de concentração de cana, relativamente alta. Em virtude da acidentada topografia local, os talhões plantados com cana situam-se nas partes altas, enquanto que no fundo das vertentes, desenvolvem-se matas de galeria ou pastagem, explicando por que os talhões dessa área são, predominantemente, estreitos.

3.4 - AQUISIÇÃO DE DADOS DE AERONAVE

Na Tabela III.9 são mostrados, para cada segmento, o equipamento utilizado para aquisição das fotografias aéreas, bem como os parâmetros para a realização da missão aerofotográfica.

3.4.1 - FOTOINTERPRETAÇÃO

Estabeleceu-se, inicialmente, uma chave de interpretação a partir da qual foram selecionados os temas a serem identificados:

- cana: aquela que cobria total ou quase totalmente o solo;
- cana nova: aquela cuja área foliar cobria, parcialmente, a superfície do solo;

- cana cortada: as áreas, cuja cultura havia sido recém cortada;
- solo nu: áreas preparadas para plantio de cana;
- mata: incluindo mata, cerrado, cerradão e reflorestamento;
- outros: abrangendo principalmente pastagem, pomar, e áreas ocupadas com restos culturais de cultivos anuais.

Para interpretação desses temas foram utilizados os critêrios adotados pela fotointerpretação convencional, com ênfase, principalmente, nos critérios de tonalidade, textura e arranjo espacial.

3.4.2 - METODOLOGIA USADA NO TRABALHO DE CAMPO

Selecionadas as aerofotos que apresentavam talhões, cuja interpretação mostrou-se duvidosa, fez-se uma verificação de campo, a fim de se proceder as devidas correções.

No intuito de se fazer uma avaliação da interpretação visual, além das áreas duvidosas, foi feita uma verificação geral da interpretação.

3.4.3 - ELABORAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS DAS ÁREAS DE TREINAMENTO

Procedidas as correções da fase de identificação dos temas, com os subsídios colhidos na fase de verificação de campo, foram elaborados os dez mapas das áreas de treinamento. A elaboração desses mapas foi a partir de mosaicos não controlados, com exceção dos segmentos Be J, para os quais foram feitos trabalhos de triangulação radial e restituição, já que esses segmentos apresentavam uma forte movimentação de relevo.

3.4.4 - CÁLCULO DA ÁREA OCUPADA COM CANA

O cálculo da área ocupada com cana foi feito utilizando o método de contagem em malha de pontos equidistantes de 1cm (Batista et al, 1978).

TABELA III.9

DADOS REFERENTES À COBERTURA AEROFOTOGRAFICA DOS SEGMENTOS

| NOME SEGMENTO | DATA DO VÔO | CÂMARA | DISTÂNCIA FOCAL (MM) | FILME (KODAK) | ABERTURA (f) | TEMPO DE EXPOSI- ÇÃO (SEG) | FIL- TROS | Nº FAIXAS | TOTAL FOLIOS | ALTURA (PES) |
|------------------|-------------------|---------|----------------------------|-------------------|-----------------|-------------------------------------|----------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| A | 27.5.78 | RC - 70 | 152 | AEROCROME IR 2443 | 5,6 | 1/60 | W16 + CC50C + Av 3,3 | 4 | 57 | 10.000 |
| B | 23.5.78 | | | | | 1/60 | | 4 | 54 | |
| C | 26.5.78 | | | | | 1/50 | | 4 | 56 | |
| D | 12.6.78 | | | | | 1/60 | | 2 | 22 | |
| E | 24.5.78 | | | | | 1/50 | | 4 | 50 | |
| F | 12.6.78 | | | | | 1/60 | | 2 | 19 | |
| G | 12.6.78 | | | | | 1/60 | | 2 | 29 | |
| H | 26.5.78 | | | | | 1/60 | | 4 | 55 | |
| I | 28.5.78 | | | | | 1/70 | | 4 | 52 | |
| J | 12.6.78 | | | | | 1/60 | | 4 | 54 | |

3.5 - AQUISIÇÃO DE DADOS DO LANDSAT

Os produtos do LANDSAT, utilizados para o estudo, foram as imagens fotográficas do LANDSAT (IFL), canais 5 e 7, na escala de 1:250.000 e dados digitalizados em fitas compatíveis com o computador (CCT).

Dada a impossibilidade de se analisar sistematicamente os dados do LANDSAT, referentes às áreas de treinamento em datas sucessivas às passagens do LANDSAT, desde o mês de abril até agosto, por problemas relacionados com cobertura de nuvens, o experimento ficou restringido à utilização e análise de dados de duas épocas básicas: dados das passagens de abril e dados das passagens de julho/agosto.

Na Tabela III.10 são mostradas, para cada segmento, as datas de obtenção dos dados do LANDSAT, utilizados nas duas épocas.

TABELA III.10

DADOS DO LANDSAT REFERENTES ÀS PASSAGENS
DE ABRIL E DE JULHO/AGOSTO

| NOME DO SEGMENTO | ÓRBITA/PONTO | DATA DA PASSAGEM | |
|------------------------|--------------|------------------|--------------|
| | | ABRIL | JULHO/AGOSTO |
| A | 206/27 | 08.04.78 | 12.08.78 |
| B | 206/27 | 08.04.78 | 12.08.78 |
| C | 206/28 | — | — |
| D | 192/27 | 07.04.78 | — |
| E | 192/28 | 07.04.78 | 11.08.78 |
| F | 178/27 | 06.04.78 | 05.07.78 |
| G | 178/27 | 06.04.78 | 05.07.78 |
| H | 178/27 | 06.04.78 | 05.07.78 |
| I | 164/27 | 05.04.78 | 04.07.78 |
| J | 164/27 | 05.04.78 | 04.07.78 |

Conforme se observa na Tabela III.10, o segmento C não foi analisado nem em abril e nem em julho/agosto, e o mesmo aconteceu com o segmento D, com referência às passagens de julho/agosto, devido à presença de nuvens.

3.6 - TRATAMENTO DOS DADOS DE PLATAFORMA ORBITAL

3.6.1 - IMAGENS FOTOGRÁFICAS DO LANDSAT (IFL)

Sobre as imagens fotográficas do LANDSAT foram identificados e demarcados os segmentos, tendo por base os mapas elaborados a partir de fotografias aéreas, citados no item 3.4.3.

A seguir, foi feita uma identificação visual e uma demarcação de cada talhão de cana nas IFL, tendo sempre por base os mapas temáticos na escala aproximada de 1:20.000.

Todas as informações das imagens fotográficas do LANDSAT serviram, então, como base, para as amostras de treinamento do sistema automático de classificação (I-100).

3.6.2 - DADOS DIGITALIZADOS DO LANDSAT (CCT)

Para a classificação automática de cana-de-açúcar, das áreas de treinamento, foram utilizados dados digitalizados do LANDSAT (fitas CCT), através do Sistema Interativo de Análise de Imagem Multiespectral (I-100), cuja função principal é extrair informação temática de imagens multiespectrais. A descrição desse sistema encontra-se nos manuais da "General Electric Company" (1975) e em Hernandez Filho e Shimabukuro (1978).

O procedimento utilizado para o tratamento e análise dos dados digitalizados do LANDSAT constou das seguintes fases:

- 1) a fim de manter uma relação de 1:1, entre os elementos de resolução ("pixel") de uma imagem digitalizada e esses mesmos elementos lidos na tela do I-100, fez-se uma ampliação das cenas, correspondentes a cada segmento, para a escala de 1:100.000;
- 2) com o auxílio das imagens fotográficas do LANDSAT e dos mapas temáticos gerados a partir das fotografias aéreas, e com base em conhecimento de campo, foram selecionadas amostras de treinamento de diferentes padrões de cana, na tela do I-100;
- 3) a partir dessas amostras selecionadas, fez-se a classificação do tema cana, utilizando-se o algoritmo MAXVER, adaptado ao sistema I-100 por Velasco et al (1978), que utiliza, para a classificação, o critério da máxima verossimilhança;
- 4) além da classificação do tema cana, foram obtidas classificações de outros temas como o de solo nu, pastagem e mata. Tais temas tinham a função precípua de servir como classes auxiliares, dentro do sistema de classificação do MAXVER, a fim de permitir uma melhor discriminação do tema principal, ou seja, a cana.

3.7 - COMPARAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS DADOS, OBTIDOS A PARTIR DA INTERPRETAÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS E IMAGENS DO LANDSAT

3.7.1 - COMPARAÇÃO QUALITATIVA DOS DADOS

3.7.1.1 - DADOS DE ABRIL

Cada segmento, delimitado no monitor do I-100, tinha a mesma forma e a mesma extensão do segmento correspondente, delimitado nos mapas temáticos, obtidos a partir das fotografias aéreas.

Após a classificação automática de cada segmento, foi obtido, através do terminal da impressora do sistema I-100, um mapa para cada

segmento, na mesma escala do mapa temático com fotografias tiradas de avião, contendo somente o tema cana.

Tomando-se como corretos os resultados obtidos nos mapas temáticos, gerados a partir das fotografias aéreas, mediante a superposição desses mapas com os obtidos no sistema I-100, copiados em papel transparente, determinou-se para cada segmento, referente ao tema cana, os erros de omissão e inclusão da classificação automática, sua percentagem de acerto e, para todas as áreas de treinamento, a percentagem total de classificação correta.

3.7.1.2 - DADOS DE JULHO/AGOSTO

Com relação aos dados de julho/agosto, procedeu-se da mesma maneira referente aos dados de abril, para a comparação qualitativa da classificação automática.

Cabe salientar, aqui, que a forma e extensão dos segmentos A, G, H, e J foram alteradas por problemas relacionados a defeitos de processamento da fita CCT. A fim de se fazer uma correta comparação de resultados, entre os dados do LANDSAT e os de aeronave, a cada alteração ocorrida, quanto a forma e extensão, nos segmentos com dados do LANDSAT, procedia-se a uma idêntica modificação nos correspondentes segmentos obtidos a partir dos dados da aeronave. O segmento H, nesta data, devido a problemas de posicionamento do satélite, passou a fazer parte do estrato 192, ao invés do estrato 178, com a denominação H'.

3.7.2 - COMPARAÇÃO QUANTITATIVA DOS RESULTADOS

Para análise quantitativa dos dados, além de testes estatísticos de análise de regressão simples e análise de variância, foram calculados os erros de omissão e inclusão, referentes à classificação automática da cana, e a determinação de índices para medir a percentagem de classificação correta individual e do conjunto das áreas de treinamento de uma época.

A Figura III.9 mostra os elementos utilizados para a avaliação e comparação dos dados, obtidos na classificação automática.

A área real de cana (AR) foi obtida a partir da utilização de malha de pontos equidistantes de 1 cm, no mapa temático gerado a partir de fotografias aéreas.

Após a obtenção do mapa, gerado pelo I-100, foi feita uma superposição dessa saída de computador com o mapa temático de cana, obtido a partir de fotografias aéreas. Dessa forma, pôde-se conhecer perfeitamente a área realmente classificada como cana, excluindo os erros de omissão e inclusão. No caso dos dados de julho/agosto, as áreas ocupadas com cana cortada e que apresentavam o padrão de solo nũ, foram consideradas como áreas de cana e as áreas de cana nova, que apresentavam o padrão de cana, foram eliminadas.

Estabelecidos os elementos: AT, AR, AC e ACC, foram determinados os seguintes parâmetros:

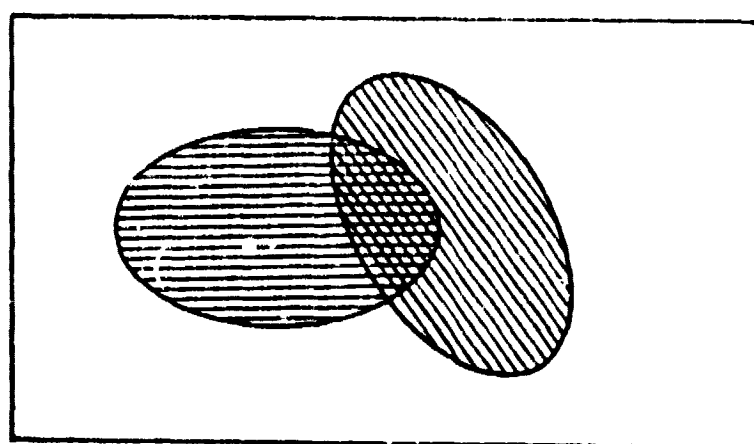
a) Percentagem do erro de inclusão (EI)

O erro de inclusão é definido como a razão entre a área classificada incorretamente como cana (AC - ACC) e a área não ocupada com cana (AT - AR), ou seja:

$$EI = \frac{AC - ACC}{AT - AR} \times 100 (\%)$$

b) Percentagem de acerto de classificação (Pa) para cada segmento:

$$Pa = \frac{ACC}{AR} \times 100$$



ÁREA TOTAL DO SEGMENTO (AT)



ÁREA REAL DE CANA DO SEGMENTO (AR)



ÁREA DE CANA CLASSIFICADA CORRETAMENTE (ACC)



ÁREA TOTAL DE CANA CLASSIFICADA (AC)

Fig. III.9 - Esquema demonstrativo dos elementos para avaliação e comparação dos dados, obtidos com a classificação automática de cana.

c) Percentagem do erro de omissão (EO):

$$EO = 100 - Pa$$

d) Percentagem total de classificação correta (PCT) para cada es
trato.

Como AT dos diferentes segmentos possuíam áreas e concen
trações desiguais, foi determinado um fator de ponderação para o cálcu
lo de PCT, ou seja:

$$w_i = \frac{\frac{AR_i}{AT_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{AR_i}{AT_i}} \quad (\text{fator de ponderação})$$

onde:

$$PCT = \sum_{i=1}^N w_i Pa_i$$

$i = 1, 2, 3, \dots, 9$ (para os dados de abril)

$i = 1, 2, 3, \dots, 8$ (para os dados de julho/agosto)

CAPÍTULO V

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - RESULTADOS ALCANÇADOS COM DADOS DE AERONAVE

A utilização dos dados obtidos com aeronave teve por objetivo geral servir de controle para se determinar a acurácia da classificação automática de cana-de-açúcar, com emprego de dados do LANDSAT. Além desse objetivo, os dados de aeronave foram também utilizados para extrair amostras de treinamento, a partir das quais foram definidos os padrões característicos dos temas a serem analisados.

Conforme já foi citado no Capítulo anterior, os temas interpretados a partir de fotografias aéreas foram: cana (subdividido em "cana, cana nova e cana cortada), solo nu, mata e outros.

O tema cana na imagem no infravermelho colorida foi diferenciado facilmente do tema cana nova. Com efeito, o padrão fotográfico da cana típica se apresentou com uma tonalidade magenta bem definida e homogênea. Em casos não típicos, essa tonalidade apresentou-se esmaecida. Um outro aspecto característico do padrão fotográfico da cana ocorreu durante a fase de inflorescência, onde a tonalidade se apresentou como magenta mosqueada de manchas brancas. O tema cana nova, por sua vez, apresentou, principalmente, dois padrões de tonalidades, dependendo do tipo de solo. Assim, em solos de coloração vermelha dominante, a cana nova teve um padrão de verde intenso, mosqueado de magenta, o qual se mostrou tanto mais intenso, quanto maior foi a percentagem de cobertura do solo pela planta. Em solos de coloração clara, o padrão da tonalidade foi um verde mais claro, variando até ao esbranquiçado.

As áreas preparadas para cultivo de cana constituíram-se no tema solo nu. A única maneira de diferenciar as áreas preparadas pa

ra cultivo de cana, das áreas preparadas para outras culturas, foi a utilização do critério de distribuição espacial. O tema solo nu apresentou um padrão de tonalidade verde intenso no caso dos solos de coloração vermelha, e verde claro, no caso dos solos de coloração clara, mas, em ambos os casos, a tonalidade verde foi homogênea e a textura fina. Já o tema cana cortada, além de apresentar uma textura grosseira, a tonalida de verde foi trocada por uma tonalidade clara, causada por restos vegetais deixados sobre o solo, após o corte.

No tema "outros" foram incluídos pastagens naturais e artificiais, café, vegetação natural esparsa, etc. O tema mata incluiu reflorestamento e vegetação densa, bem como cerrado e cerradão.

Capineiras, incluídas em pastagens artificiais, foram as que causaram maior confusão com o tema cana. Nesses casos, o critério utilizado, para se proceder à correta identificação, foi a verificação de campo. A sua expressão em termos de área, no entanto, é muito pequena.

A pastagem natural foi facilmente diferenciada do tema cana, utilizando o critério de textura aveludada para esta e textura grosseira para aquela. Além desse critério de textura, a arrumação das áreas de cana cortadas por carreadores e estradas, foi um forte e seguro critério, para se proceder a diferenciação dos dois temas.

O tema mata teve como fator preponderante, para a sua identificação, a textura rugosa característica. A principal razão de sua interpretação foi o de servir como ponto de referência, para identificação das áreas de treinamento nas imagens LANDSAT.

Para relacionar os dados de aeronave com os dados do LANDSAT, foi definido somente o tema cana. A Tabela IV.1 apresenta a área ocupada com cana em cada segmento, bem como a sua concentração relativa.

TABELA IV.1

ÁREA TOTAL, ÁREA DE CANA E SUA CONCENTRAÇÃO EM CADA SEGMENTO

| NOME DO SEGMENTO | [A] ÁREA TOTAL (HA) | [B] ÁREA COM CANA (HA) | $\left(\frac{B}{A}\right) \times 100$ |
|------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| A | 20.013 | 3.295 | 14,46 |
| B | 20.000 | 2.072 | 10,36 |
| C | 20.043 | 4.920 | 24,55 |
| D | 12.023 | 3.720 | 30,94 |
| E | 20.216 | 4.381 | 21,67 |
| F | 11.468 | 6.202 | 54,08 |
| G | 10.612 | 5.796 | 54,62 |
| H | 19.879 | 10.030 | 50,46 |
| I | 20.492 | 5.550 | 27,08 |
| J | 20.000 | 7.432 | 37,16 |

Os segmentos F, G e H foram os que apresentaram os índices mais elevados de concentração do tema cana (na ordem de 50%), enquanto os segmentos A e B foram os que apresentaram os mais baixos índices de concentração daquele tema (na ordem de 10%). Os segmentos C, D, E, I e J apresentaram uma concentração intermediária de cana (na ordem de 25%).

4.2 - RESULTADOS ALCANÇADOS COM DADOS DO LANDSAT

4.2.1 - DADOS DE ABRIL

Na Tabela IV.2 são mostrados, para cada segmento, os resultados comparativos de áreas ocupadas com cana, obtidos a partir de in

interpretação visual de fotografias aéreas e de classificação automática, utilizando dados digitalizados do LANDSAT.

TABELA IV.2

RESULTADOS COMPARATIVOS DE ÁREAS OCUPADAS COM O TEMA CANA, OBTIDOS
A PARTIR DE DADOS DE AERONAVE E DADOS DIGITALIZADOS DO
LANDSAT, REFERENTES À ÉPOCA DE ABRIL

| ESTRATO | NOME DO SEGMENTO | AT (1) (Ha) | ÁREA DE CANA (Ha) | | |
|---------|------------------------|----------------|-----------------------|----------------------|---------|
| | | | COM DADOS DE AERONAVE | COM DADOS DO LANDSAT | |
| | | | AR (2) | AC (3) | ACC (4) |
| 206 | A | 20.013 | 3.295 | 2.453 | 1.063 |
| | B | 20.000 | 2.072 | 3.181 | 508 |
| 192 | D | 12.023 | 3.720 | 4.745 | 2.404 |
| | E | 20.216 | 4.381 | 5.534 | 2.375 |
| 178 | F | 11.468 | 6.202 | 6.286 | 4.620 |
| | G | 10.612 | 5.796 | 6.739 | 4.128 |
| | H | 19.879 | 10.030 | 12.951 | 7.927 |
| 164 | I | 20.492 | 5.550 | 4.195 | 2.724 |
| | J | 20.000 | 7.432 | 5.529 | 2.450 |

- (1) Extensão da área total do segmento
- (2) Área real de cana dentro do segmento
- (3) Área de cana classificada automaticamente
- (4) Área de cana classificada corretamente como cana.

4.2.2 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS DE ABRIL

O gráfico da Figura IV.1 mostra a correlação existente entre os valores experimentais das áreas ocupadas com cana, obtidas a partir de fotografias aéreas e de dados digitalizados do LANDSAT.

A equação de regressão, que expressa a correlação linear entre os valores de AR e AC da Tabela IV.2, foi:

$$\bar{Y} = 0.69 X + 1.449,60$$

Determinado o coeficiente de correlação ($r = 0,87$), constatou-se que, ao nível de 1%, ele era significativo.

A análise de variância (Tabela IV.3) revelou altamente significativo para a equação de regressão linear simples, ao nível de 1%.

TABELA IV.3

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA EQUAÇÃO DE REGRESSÃO DOS DADOS DE ABRIL

| FONTE DE VARIAÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | SOMA DE QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | F |
|-------------------|--------------------|-------------------|------------------|---------|
| REGRESSÃO LINEAR | 1 | 34.925.826,24 | 34.925.826,24 | 22,58** |
| ERRO | 7 | 10.828.333,98 | 1.546.904,85 | |
| TOTAL | 8 | 45.754.160,22 | — | — |

** significativa ao nível de 0,01 ($F_{0,01} = 12,25$).

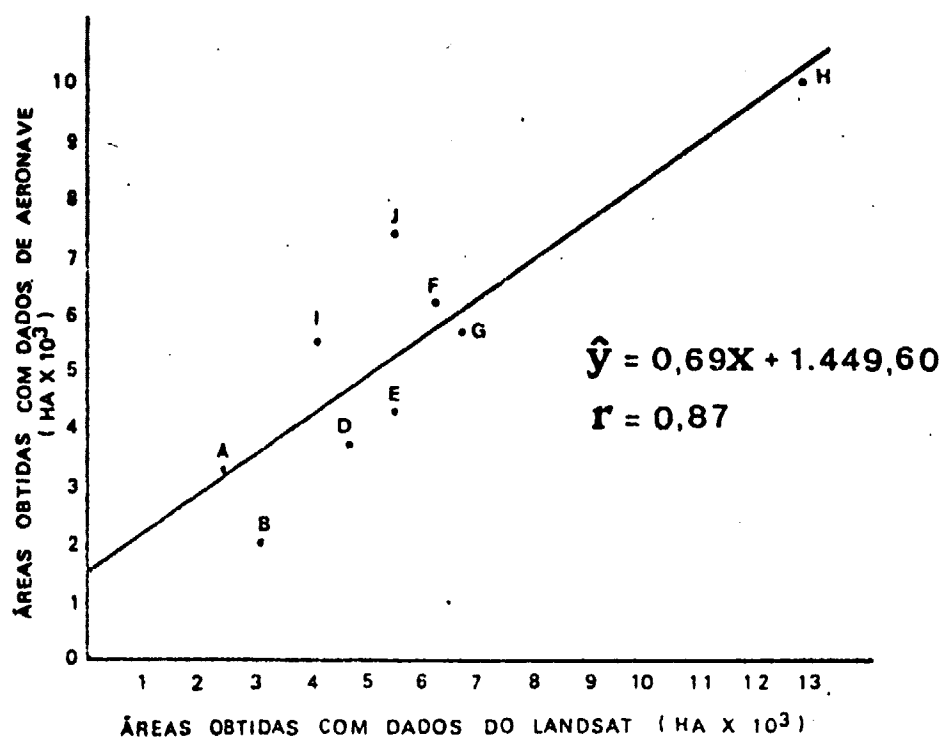


Fig. IV.1 - Regressão e correlação entre os valores de área de cana, obtidos com dados do LANDSAT (AC) e dados de aeronave (AR), referente a abril.

4.2.3 - DADOS DE JULHO/AGOSTO

Os resultados obtidos de áreas ocupadas com cana nos segmentos, utilizando o sistema visual de tratamento de dados de aeronave e o sistema automático de tratamento de dados digitalizados do LANDSAT, são mostrados na Tabela IV.4.

TABELA IV.4

RESULTADOS COMPARATIVOS DE ÁREAS OCUPADAS COM O TEMA CANA, OBTIDOS
A PARTIR DE DADOS DE AERONAVE E DADOS DIGITALIZADOS DO
LANDSAT, REFERENTES À ÉPOCA DE JULHO/AGOSTO

| ESTRATO | NOME DO SEGMENTO | AT (1) (Ha) | ÁREA DE CANA (Ha) | | |
|---------|------------------------|----------------|-----------------------|----------------------|---------|
| | | | COM DADOS DE AERONAVE | COM DADOS DO LANDSAT | |
| | | | AR (2) | AC (3) | ACC (4) |
| 206 | A | 6.617 | 995 | 1.213 | 756 |
| | B | 20.000 | 2.072 | 3.412 | 1.756 |
| 192 | E | 20.216 | 4.381 | 5.604 | 4.125 |
| | H* | 19.350 | 9.645 | 10.055 | 9.279 |
| 178 | F | 11.468 | 6.202 | 6.218 | 5.499 |
| | G | 13.480 | 7.106 | 6.574 | 5.692 |
| 164 | I | 20.492 | 5.550 | 5.533 | 5.108 |
| | J | 14.600 | 6.484 | 7.036 | 5.140 |

- (1) Extensão da área total do segmento
- (2) Área real de cana dentro do segmento
- (3) Área de cana classificada automaticamente
- (4) Área de cana classificada corretamente como cana.

4.2.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS DE JULHO/AGOSTO

A equação de regressão linear, simples encontrada para os dados de julho/agosto, foi:

$$\bar{Y} = 1,04X - 656,38$$

Os resultados entre os valores de área de cana, obtidos com dados de aeronave (AR) e dados do LANDSAT (AC), referentes à época de julho/agosto, apresentaram correlação altamente significativa ($r = 0,97$), ao nível de 1% (Figura IV.2).

A análise de variância (Tabela IV.5) revelou efeito altamente significativo para a equação de regressão linear simples, ao nível de 1%.

TABELA IV.5

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA EQUAÇÃO DE REGRESSÃO DOS DADOS DE JULHO/AGOSTO

| FORTE DE VARIAÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | SOMA DE QUADRADOS | QUADRADOS MÉDIOS | F |
|-------------------|--------------------|-------------------|------------------|----------|
| REGRESSÃO LINEAR | 1 | 51.503.701,30 | 51.503.701,30 | 111,63** |
| ERRO | 6 | 2.719.546,58 | 453.257,76 | |
| TOTAL | 7 | 54.223.247,88 | — | — |

** significativa ao nível de 0,01 ($F_{0,01} = 13,75$).

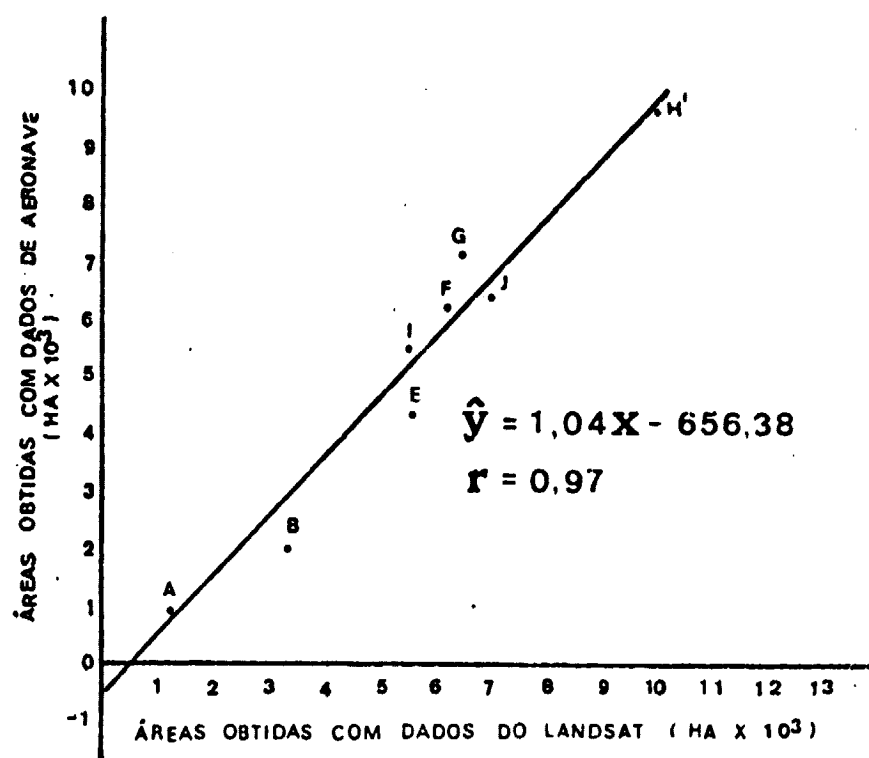


Fig. IV.2 - Regressão e correlação entre os valores de área de cana, obtidos com dados do LANDSAT (AC) e dados de aeronave (AR), referente a julho/agosto.

4.3 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS EM ABRIL E JULHO/AGOSTO

4.3.1 - ÁREAS DE TREINAMENTO

A Tabela IV.6 mostra, comparativamente para os diferentes segmentos, a percentagem de acerto (Pa) de áreas classificadas corretamente como cana, bem como as percentagens de erros de omissão (EO) e de inclusão (EI) da referida classificação, referentes às épocas de abril e julho/agosto.

TABELA IV.6

RESULTADOS COMPARATIVOS DA CLASSIFICAÇÃO DO TEMA CANA, EM TERMOS DO ÍNDICE DA PERCENTAGEM DE ACERTO (Pa) DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA E PERCENTAGENS DOS ERROS DE OMISSÃO (EO) E INCLUSÃO (EI) COMETIDOS

| NOME DO SEGMENTO | ÍNDICE EPOCA | Pa (%) | | ERROS | | | |
|---------------------|-----------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | | | | Eo (%) | | Ei (%) | |
| | | ABRIL | JUL-AGO | ABRIL | JUL-AGO | ABRIL | JUL-AGO |
| A | | 32,26 | 75,98 | 67,74 | 24,02 | 8,31 | 8,13 |
| B | | 24,52 | 84,75 | 75,48 | 15,25 | 14,91 | 9,24 |
| D | | 64,62 | — | 35,38 | — | 28,19 | — |
| E | | 54,21 | 94,16 | 45,79 | 5,84 | 19,95 | 9,34 |
| H' | | — | 96,21 | — | 3,79 | — | 8,00 |
| F | | 74,49 | 88,66 | 25,51 | 11,34 | 31,64 | 13,65 |
| G | | 71,22 | 80,08 | 28,78 | 19,92 | 54,22 | 13,84 |
| H | | 79,03 | — | 20,97 | — | 51,01 | — |
| I | | 49,08 | 92,04 | 50,92 | 7,96 | 9,84 | 2,84 |
| J | | 32,97 | 79,27 | 67,03 | 20,73 | 24,50 | 23,36 |

No gráfico da Figura IV.3 são mostrados os resultados obtidos nas duas épocas - abril e julho/agosto -, onde os resultados são comparados em termos do índice de percentagem de acerto.

Conforme pode-se ver neste gráfico, a diferença em termos da percentagem de acerto de áreas ocupadas com cana nos segmentos, usando dados de abril, foi significativamente inferior aos resultados obtidos, utilizando dados de julho/agosto.

Com relação especificamente aos dados de abril, pôde-se observar que as áreas situadas em ambos os extremos da região de estudo, no sentido leste-oeste, ou seja, os segmentos A e B localizados no estrato 206 e os segmentos I e J, no estrato 164, foram os que apresentaram os mais baixos índices de percentagem de acerto e, entre todos os segmentos, o B foi o que apresentou o mais baixo índice de percentagem de acerto: 24,52%.

As áreas situadas nos estratos 192 e 178 apresentaram, para os dados de abril, os maiores índices de percentagem de acerto, sendo que o segmento H apresentou o índice mais elevado, da ordem de 79,03%.

Os índices de percentagem de acerto de classificação, obtidos com os dados de julho/agosto, em comparação com aqueles obtidos com os dados de abril, apresentaram um significativo incremento (Figura IV.3).

Nos gráficos das Figuras IV.4 e IV.5 são mostrados, comparativamente, para cada área de treinamento, as percentagens de erros de inclusão e omissão cometidos ao se classificar automaticamente áreas ocupadas com cana, utilizando-se dados digitalizados do LANDSAT, em duas épocas diferentes. Nestes gráficos, pode-se observar também que, na classificação com dados de abril, foi onde ocorreram os maiores erros, tanto de inclusão como de omissão.

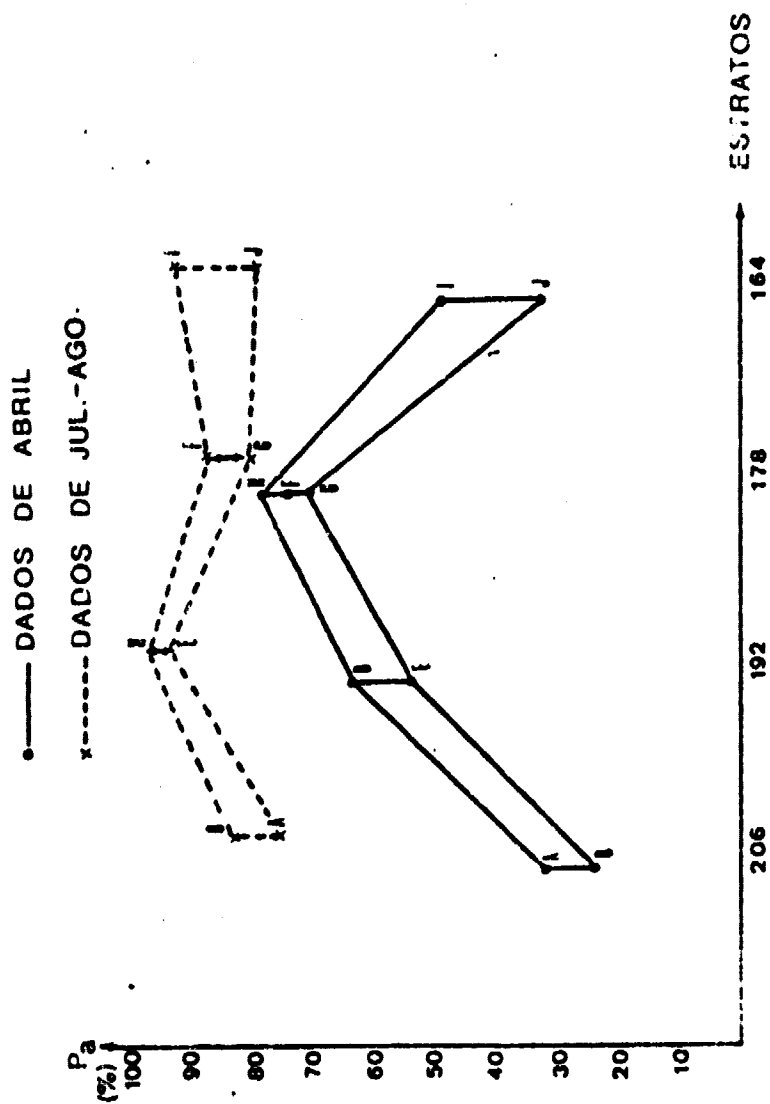


Fig. IV.3 - Índice de percentagem de acerto de classificação (Pa), referente à cana, usando dados de abril e julho/agosto.

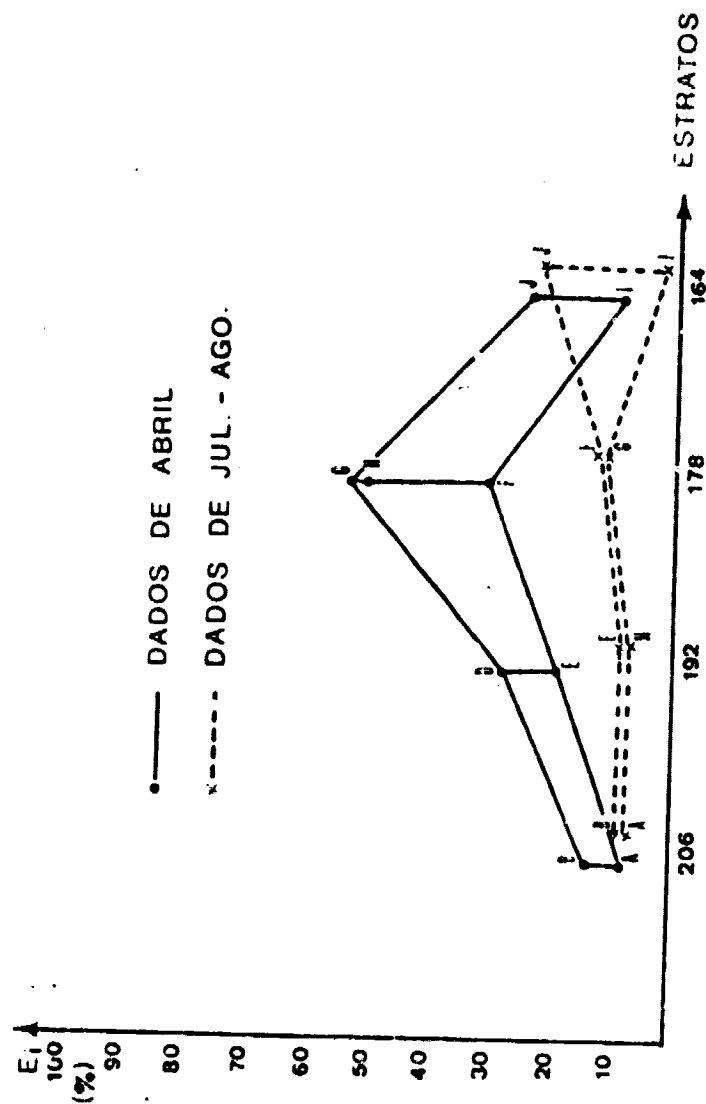


Fig. IV.4 - Percentagem de erros de inclusão (EI), referente às classificações de cana, usando dados de abril e julho/agosto.

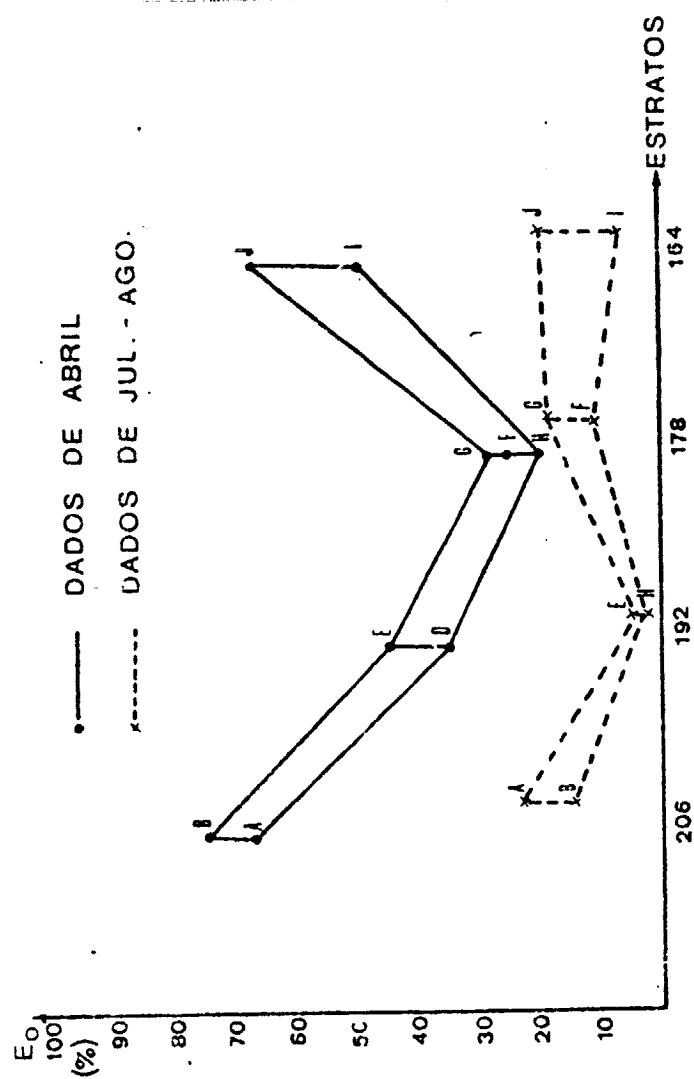


Fig. IV.5 - Percentagem de erros de omissão (E0), referente às classificações de cana, usando dados de abril e julho/agosto.

Um outro aspecto, apresentado pelos mesmos gráficos, relativo à época de abril, foi a discrepância de valores de erro, tanto de omissão como de inclusão, entre áreas de um mesmo estrato.

Com relação à incidência e erros de inclusão e omissão, na classificação do tema cana, de dados de julho/agosto, conforme pode-se ver nas Figuras IV.4 e IV.5, a discrepância dos valores desses erros não foi tão acentuada, com exceção de erro de inclusão ocorrido no segmento J.

Observando-se ainda os gráficos das Figuras IV.3, IV.4 e IV.5, verificou-se que o fator temporal foi decisivo para obtenção de melhores resultados de classificação do tema cana.

Pode-se observar que a classificação de abril, do tema cana foi sensivelmente afetada pela presença de pastagem a qual apresentava resposta espectral semelhante a da cultura em estudo, o que dificultou bastante, ao classificador automático, tomar decisão para a correta classificação da cana.

Em abril, a região em estudo foi atingida por uma estiagem, que se prolongou até fins de maio e início de junho. O estrato 206 estava situado numa faixa de transição entre a região de vocação eminentemente agrícola, do centro do Estado e a região predominantemente pastoril, a oeste. A pastagem dessa região, nessa época, apresentava um aspecto de início de declínio do seu vigor vegetativo, provocado, provavelmente, por deficiência de água. A cana presente nos segmentos A e B, desse estrato, começou a apresentar o mesmo sintoma da pastagem. Além disso, sendo esse estrato uma faixa de transição com o domínio de áreas ocupadas com pastagem, a rotatividade da cultura da cana no campo não foi tão dinâmica, como ocorreu nos estratos localizados no centro do Estado, onde, a qualquer época do ano, pode-se encontrar a cultura da cana, em seus mais diferentes estágios de desenvolvimento.

Tal quadro agrônômico da cultura da cana nos segmentos A e B, referentes ao mês de abril, contribuiu decisivamente para a formação de um padrão espectral característico, muito próximo ao padrão espectral da pastagem. Os talhões de cana, que apresentavam aspecto vegetativo vigoroso, eram muito poucos, elevando-se, desta forma, o erro de omissão na classificação da cana. Esses mesmos segmentos, quando tratados com dados de julho/agosto, mostraram uma significativa redução do erro de omisão.

Os resultados da classificação de cana dos segmentos do estrato 178, referente ao mês de abril, apresentaram erros de inclusão variando de 31,64% (segmento F) a 54,22% (segmento G), enquanto que os erros de inclusão das áreas do estrato 206, variaram de 8,31% (segmento A) a 14,91% (segmento B).

No estrato 178, que era uma região cujos solos apresentavam uma condição física de maior retenção do volume de umidade disponível às plantas, mesmo com a ocorrência da estiagem, as áreas ocupadas com pasto se apresentaram com aspecto vegetativo bastante vigoroso. Tal situação significou, em termos de resposta espectral, uma competição entre as pastagens e a cana, presente no campo, na época de abril. Ao se utilizar os dados de julho/agosto, para a classificação da cana, obteve-se uma sensível redução daquele erro de inclusão.

Os segmentos dos estratos 192 e 164 estavam em uma situação intermediária, com relação aos estratos 206 e 178. A classificação da cana nos segmentos desses estratos, referente ao mês de abril, apresentou índices de erros de omissão e inclusão quase equivalentes, indicando, assim, a existência de situações semelhantes àquelas comentadas nos segmentos dos estratos 206 e 178.

No segmento J, do estrato 164, o erro de inclusão cometido, em ambas as épocas tratadas, foi aproximadamente igual: 24,5% em abril e 23,2% em julho/agosto. A explicação para este fato parece estar na compreensão dos fenômenos físicos que ocorrem na natureza, relacionados

ã cultura da cana, dentro de um ambiente altamente dinâmico. Assim, além dos fatores citados anteriormente, com a presença de pastagens competindo com o padrão característico da cana, o fator arranjo espacial desta cultura, no segmento J, deve ter contribuído para a introdução de um significativo erro de inclusão, mesmo na época de julho/agosto.

4.3.2 - PERCENTAGEM TOTAL DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA DE CADA ESTRATO (PCT)

Na Tabela IV.7 foi calculado para cada estrato e para as duas épocas, a percentagem total de classificação correta (PCT), obtida automaticamente.

TABELA IV.7

CÁLCULO DA PERCENTAGEM TOTAL DA CLASSIFICAÇÃO CORRETA
DE CANA EM CADA ESTRATO, REFERENTE ÀS EPOCAS
DE ABRIL E JULHO/AGOSTO

| ESTRATO | PERCENTAGEM TOTAL DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA | |
|---------|--|--------------|
| | ABRIL | JULHO/AGOSTO |
| 206 | 29,27 | 79,56 |
| 192 | 60,33 | 95,59 |
| 178 | 74,81 | 84,42 |
| 164 | 39,76 | 84,11 |

Observando-se os resultados da Tabela IV.7, as percentagens totais de classificação correta da cana, dos estratos 206 e 164, foram as que apresentaram maiores incrementos de acer

to de classificação (171,81% e 111,54%, respectivamente), ao se passar de abril para julho/agosto.

Isto vem comprovar que a área de estudo, sobre a qual es tã localizada a cana, é grandemente afetada por outros alvos de características espectrais semelhante a ela, principalmente pastagens.

O estrato 192, que se encontra numa região de transição entre a região eminentemente agrícola, do estrato 178, e a região predominantemente pastoril, abrangida pelo estrato 206, apresentou incremento de acerto de classificação da cana, de abril a julho/agosto, da ordem de 58,45%.

O mais baixo incremento de acerto de classificação da cana, da data de abril para a data de julho/agosto, foi o do estrato 178 (12,85%). Com efeito, sendo essa uma região mais intensamente cultivada e possuidora dos melhores solos da área de estudo, e onde se encontra a maior concentração de plantio de cana de todo o Estado de São Paulo, nas duas épocas de tratamento dos dados, a cultura da cana predominava em relação aos outros alvos, justificando, assim, o pequeno incremento da percentagem de acerto da época de abril para a época de julho/agosto.

CAPÍTULO VCONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES5.1 - CONCLUSÕES

Da análise e discussão dos resultados sobre o desempenho alcançado na avaliação de áreas de cana, utilizando dados digitalizados do LANDSAT, através do sistema classificador automático I-100, em áreas selecionadas para treinamento, chegou-se às seguintes conclusões:

- 1) o uso de fotografias aéreas, para classificação automática de dados do LANDSAT, mostrou-se eficiente e de grande utilidade para a medida da percentagem de classificação correta;
- 2) os parâmetros tipo de solo, concentração da cultura e sua distribuição espacial, além da escolha de estratos nas diferentes órbitas, contribuíram de maneira positiva para a classificação da cana, utilizando-se dados do LANDSAT;
- 3) do ponto de vista de resposta espectral, a pastagem exuberante foi o alvo, na região de estudo, que mais se confundiu com cana, contribuindo mais com o erro de inclusão, devido à sua maior extensão em área;
- 4) a natureza repetitiva dos dados do LANDSAT permitiu aumentar o desempenho da classificação, através da seleção de passagens em épocas mais favoráveis de discriminação da cultura analisada;
- 5) os resultados se mostraram encorajadores, face ao desempenho obtido nos diferentes segmentos utilizados como áreas de treinamento, no sentido de utilização dos dados do LANDSAT, tratados através do I-100, para identificação e avaliação de áreas ocupadas com a cultura da cana-de-açúcar.

5.2 - RECOMENDAÇÕES

Com base no trabalho executado e tendo por objetivo a extração de parâmetros de classificação, que permitam desenvolver uma metodologia com um razoável nível de acurácia, a partir de áreas prê-selecionadas para treinamento, para se proceder a um inventário da cana de uma vasta região, recomenda-se:

- 1) um estudo preliminar da região, com o objetivo de se conseguir as informações básicas da distribuição espacial da cultura. Uma maneira prática para executar essa primeira tarefa seria, talvez, o procedimento de um inventário de todas as usinas de açucar da região, sua demarcação em um mapa topográfico em escala de 1:250.000 e a determinação do raio de atuação de cada uma das usinas inventariadas;
- 2) transferir essas informações das usinas de açucar, do mapa topográfico, para um mosaico de imagens LANDSAT, escala 1:250.000, canais 5 e 7, numa data conveniente;
- 3) sobre esse mosaico, definir, dentro de cada órbita do LANDSAT, substratos de áreas homogêneas e mediante uma interpretação preliminar visual, far-se-ia a demarcação das áreas de maior concentração de cana, tomando como critério, além das informações da das pelas respostas espectrais dos canais 5 e 7, as indicações fornecidas pelo posicionamento geográfico das usinas de açucar;
- 4) dentro de cada estrato, definir o número de imagens do LANDSAT a serem utilizadas e, dentro de cada substrato, uma área de treinamento de 20 x 20 km, a ser aerofotografada por avião. A fim de minimizar os custos e trabalho, essas áreas de treinamento, dentro do possível, poderiam ser planejadas sobre áreas comuns a duas imagens sucessivas do LANDSAT;

- 5) a extensão da assinatura do tema cana, para toda a região, de verã obedecer a dois critérios: o espectral e o temporal, já que a resposta espectral da cultura é afetada em função da época em que os dados são tomados;
- 6) para minimizar os erros de inclusão e omissão da classificação automática do tema cana, além de se utilizar o recurso do fator temporal, dever-se-ã adotar um critério para o limite da exten são da assinatura espectral da cana, de cada área de treinamen to, cujo critério poderá ser o de não ultrapassar a extensão de cada substrato.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Diretor do Instituto de Pesquisas Espaciais, Dr. Nelson de Jesus Parada, por ter permitido a realização desse trabalho.

Ao Dr. Cláudio Roland Sonnenburg e o Engenheiro Agrônomo Antônio Tebaldi Tardin, MSc., pela orientação e colaboração.

Ao Coordenador do Departamento de Sensoriamento Remoto, Renê Antonio Novaes, por ter incentivado a realização deste trabalho.

Ao Yosio Edemir Shimabukuro, David Chung Liang Lee, Sherry Chou Chen, Armando Pacheco dos Santos e José Carlos Moreira, pela colaboração e incentivo.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

BIBLIOGRAFIA

- BATISTA, G.T.; NOVAES, R.A.; TARDIN, A.T.; MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.L.; SANTOS, J.R.DOS; CHEN, S.C.; TOSCANO, L.P. *Atividades do projeto estatísticas agrícolas durante o ano de 1975*. São José dos Campos. INPE, fev., 1976. (INPE- 830-PPr/012)
- ; MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.L.; CHEN, S.C.; TARDIN, A.T.; NOVAES, R.A.; TOSCANO, L.P. *Estudo de viabilidade do uso amostral de fotografias aéreas (infravermelho colorido) para estimativa de áreas cultivadas em Jardinópolis SP*. São José dos Campos, INPE, mar., 1977. (INPE-1006-NTE/077)
- ; MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.L.; TARDIN, A.T.; CHEN, S.C.; NOVAES, R.A. *Uso de dados orbitais para identificação e avaliação de áreas de cana de açúcar*. São José dos Campos, INPE, abr., 1978. (INPE-1228-NTE/116)
- BAUER, M.V. Technological basis and applications of remote sensing of the earth's resources. *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*, 14 (1) : 3-9, Jan., 1976.
- ; CIPRA, J.E. Identification of agricultural crops by computer processing of ERTS MSS data. In: *Symposium on significant results obtained from the earth resources technology satellite-1*, 3, Washington, D.C., 1973. Proceedings. V.1, Sec. A, p. 205-212.
- BAUMGARDNER; M.F.; HENDERSON, JR. A. *Mapping soils crops, and rangelands by machine analysis of multitemporal ERTS-1 data*. West Lafayette. Indiana, Purdue, University, 1973. (LARS information note 121173).
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. *Centro de Pesquisas Agronômicas. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo*. Rio de Janeiro, 1960. 634 p. (Boletim 12)
- DAVIS, B.J.; SWAIN, P.H. *An automated and repeatable data analysis procedure for remote sensing applications*. West Lafayette, Indiana, Purdue University, 1974. (LARS information note 041574).

- DIETRICH, D.L.; FRIES, R.F.; EGBERT, D.D. Agricultural inventory capabilities of machineprocessed LANDSAT digital data. In: NASA. *Earth Resources Survey Symposium*, Houston, Tex., Jun., 1975. Proceedings. V.1, Sec. A, p. 221-232.
- DRAEGER, W.C. Agricultural applications of ERTS-1 data. In: *Symposium on significant results obtained from the earth resources technology satellite-1*, 3., Washington, D.C., 1973. Proceedings. V.1, Sec. A, p. 197-204.
- ; NICHOLS, J.D.; BENSON, A.S.; LARRABEE, D.G.; SENKUS, W.M.; HAY, C.M. Regional agriculture surveys using ERTS-1 data. In: *Third Earth resources technology satellite-1 symposium*, 3., Washington, D.C., 1973. Proceedings. V.1, Sec. A, p. 117-127.
- ECONOMY, R.; GOODENOUGH, D.; RYERSON, R.; TOWLES, R. Classification accuracy of the Image-100. In: *Canadian Symposium on Remote Sensing*, 2., Ontario, 1974. p. 277-287.
- ERB, R.B. The utility of ERTS-1 data for applications in agriculture and forestry. In: *Third Earth resources technology satellite-1 symposium*, 3., Washington, D.C., 1973. Proceedings. V.1, Sec. A, p. 75-85.
- GENERAL ELECTRIC COMPANY. *Image-100-interactive multispectral image analysis system: user manual*. Daytona, 1975.
- HALL, F.J.; BAUER, M.E.; MALILA, W.A. *First results from crop identification technology assessment for remote sensing (CITARS)*. Lafayette, Indiana, Purdue University, 1974. (LARS information note 041874).
- HAY, C.M. Agricultural inventory techniques with orbital and high-altitude imagery. *Photogrammetric Engineering*, 40 (13) : 1283-1293, Nov., 1974.
- HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E. *Estabelecimento de metodologia para avaliação de povoamentos florestais artificiais, utilizando-se dados do LANDSAT*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1978. (INPE-1271-TPT/089).

HORTON, M.L.; HEILMAN, J.L. Crop identification using ERTS imagery.

In: *Symposium on significant results obtained from the earth resources technology satellite-1*, 3., Washington, D.C., 1973.

Proceedings. V.1, Sec. A, p. 27-33.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Estado de São Paulo*

- *sinopse preliminar do censo demográfico: VII recenseamento geral*

- 1970. Rio de Janeiro, 1970. p. 128-145.

INSTITUTO CAMPINEIRO DE ENSINO AGRÍCOLA. Cana-de-açúcar. In: ———.

Principais culturas - I. Campinas, 1972. p. 301-305.

JOHNSON, C.W.; COLEMAN, V.B. Semi-automatic crop inventory from

sequential ERTS-1 imagery. In: *Symposium on significant results*

obtained from the earth resources technology satellite-1, 3.,

Washington, D.C., 1973. Proceedings. V.1, Sec. A, p. 19-25.

LABORATORY FOR AGRICULTURAL REMOTE SENSING (LARS). Agricultural

remote sensing research program. In: ———. Remote multispectral

sensing in agriculture. Lafayette, Indiana, Purdue University, 1968.

Cap. 2, p. 6-7.

LANDGREBE, D. An evaluation of machine processing techniques of ERTS-1

data for user applications. In: *Third Earth resources technology*

satellite-1 symposium, 3., Washington, D.C., 1973. Proceedings.

V.1, Sec. A, p. 41-73.

MACDONALD, R.B.; HALL, F.G. LACIE: An experiment in global crop

forecasting. In: *The LACIE Symposium*, Houston, Tex., Oct., 1978,

23-26. p.1-32.

MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.L.; TARDIN, A.T. Estudo comparativo de inter

pretação automática e visual em imagem LANDSAT visando a identifica

ção da cultura de cana-de-açúcar. São José dos Campos, INPE, maio,

1978. (INPE-1265-N11/104)

MISRA, P.N.; WHEELER, S.G. Crop classification with LANDSAT

multispectral scanner data. In: *Pattern Recognition*. Great Britain,

Pergamon, 1978. Cap.10. p. 1-13.

MYERS, V.I. Crops and soils. In: *American Society of Photogrammetry.*

Manual of Remote Sensing. Falls Church, Va., 1975. V.2, p. 1715-1805.

- SAFIR, G.R.; MYERS, W.L.; MALILA, W.A.; MORGENSTERN, J.P. Applications of ERTS-1 data to analysis of agricultural crops and forests. In: *Earth resources technology satellite-1*, 3, Washington, D.C., 1973. Proceedings. V.1, Sec. A, p. 173-180.
- SÃO PAULO. D.A.E.E. Atlas: diagnóstico básico do plano de irrigação do Estado de São Paulo. São Paulo, 1973.
- SÃO PAULO. INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Serviço Aerofotogramétrico Cruzeiro do Sul, 1963. Escala 1:1.000.000.
- SÃO PAULO. SECRETARIA DA AGRICULTURA. *Previsões e estimativas das safras agrícolas do Estado de São Paulo 1977/78: 5º levantamento*. São Paulo, 1978. p.5
- . Mapa de zoneamento ecológico para a cultura canavieira. In: ———. Atlas do Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo. São Paulo, 1974. Carta 6.3.1
- SCHURUMPF, B.J. Natural Vegetation Inventory. In: *NASA, Symposium on significant results obtained from earth resources technology satellite-1*, Houston, Tex., 1973. Proceedings. V.1, Sec. A, p. 59-66.
- SHLIEN, S.; GOODENOUGH, D. *Automatic interpretation of ERTS-A imagery using the maximum likelihood decision rule*. Ottawa, Canada, Centre for Remote Sensing. Department of Energy, Mines and Resources, 1973. (Centre for Remote Sensing Research, Report 73-2)
- SETZER, J. *Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Comissão Interestadual da Bacia Paranã-Uruguaí, 1966. 61 p.
- VAN GENDEREN, J.L.; LOCK, B.F.; VASS, P.A. Remote sensing statistical testing of thematic map accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 7 (1) : 3-14, Nov., 1978.
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. *Sistema Maxver - Manual do Usuário*. São José dos Campos, INPE, jul., 1978. (INPE-1315-NT1/110)
- WESTIN, F.C.; LEMME, G.D. LANDSAT spectral signatures: studies with soil associations and vegetation. *Photogrammetric Engineering*, 46 (3) : 315-325, Mar., 1978.